جامعة تشرين

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم القوى الميكانيكية

Tishreen university

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

Department Of Mechanical Power Engineering

" اختيار تصميم مولد بخار لآلة تبريد امتصاصية لتوليد أكبر كمية بخار ممكنة بواسطة الإشعاع الشمسي"

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة القوى الميكانيكية (طاقة شمسية)

إعداد المهندس

ناظم ديب

بإشراف:

الدكتور المهندس

جابر ديبة

مشرفا علمياً

الدكتورة المهندسة

مها أحمد

مشرفاً مشاركاً

2010-2011

أهداف المشروع

- اختيار وتصميم مولد بخار الدارة الامتصاصية بأكبر معامل انتقال حراري ممكن ضمن حجم محدد بهدف زيادة عملية التبخر.
- إعداد نموذج رياضي للمولد ودراسة وأمثلة معامل انتقال الحرارة والاستطاعة الحرارية للتصميم المحتمل.
- دراسة تأثير مادة الأنابيب في المولد (نحاس، فولاذ، ..... الخ).
- اختيار وسيط التبريد (المحلول الثنائي) المناسب لآلة تبريد.
- إجراء نمذجة للنظام الإجمالي واستخدامه في إنشاء منحنيات تشغيل المنشأة.
- تحسين الأثر التبريدي لآلة التبريد الامتصاصية.

المحتويات

الفصل الأول

التبريد بالطاقة الشمسية

تعتبر الطاقة الواردة إلينا من الشمس من أهم أنواع الطاقات التي يمكن للإنسان استغلالها، فهي طاقة دائمة لا ينتج عن استخدامها غازات أو نواتج ثانوية ضارة بالبيئة مقارنة بمصادر أخرى، ولا تترك مخلفات على درجة من الخطورة مثل النفايات المشعة التي تتخلف عن استعمال الطاقة النووية.

إن فكرة استخدام الطاقة الشمسية في التسخين أو في تحريك الآلات ليست جديدة على الإطلاق، ويحدثنا التاريخ بأن أرخميدس الذي عاش في القرن الثالث قبل الميلاد قد استخدم أشعة الشمس في إحراق بعض سفن العدو في إحدى المعارك الحربية، ومن المعتقد أنه استخدم بعض المرايا لتركيز أشعة الشمس على صواري هذه السفن.

لقد أصبحت للطاقة الشمسية مكانتها اللائقة بين مصادر الطاقة الأخرى في الوقت الحاضر، واعتمدت ميزانيات كبيرة في أغلب الدول لاستغلال هذه الطاقة، كما تعددت الطرق المقترحة للاستفادة منها مثل استخدام المرايا العاكسة لتجميع ضوء الشمس أو ابتكار طرق لتجميع حرارة الشمس وامتصاصها أو تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الشمسية وغيرها من الاستخدامات [1,2].

١.١. التبريد بالطاقة الشمسية:

يمكن استخدام الطاقة الشمسية في تبريد المباني أيضاً بطريقتين رئيسيتين:

منظومات التبريد الفعالة التي تستخدم فيها منظومات التبريد الامتصاصية إذ تستمد حاجتها من الطاقة من مصادر الطاقة الشمسية، ومنظومات التبريد السلبي.

كافة تقنيات منظومات التبريد السلبية والفعالة ميسرة في الوقت الحاضر، ولكنّ الكلفة الأولية العالية للمنظومات الفعالة تحدّ من استخدامها على نطاق واسع في الوقت الحاضر [3-5].

١.١.١. منظومات التبريد الفعالة:

إن منظومات التبريد الامتصاصية (Absorption Systems) مشابهة لمنظومات التبريد الانضغاطية (Compression Systems) الاعتيادية إلاّ أنها تختلف عنها بعدم وجود ضاغط (Compressor).

يتمّ في هذه المنظومات إبدال الضاغط بمولد تتم تغذيته من مصدر شمسي، وفي هذه المنظومات يستخدم (عوضاً عن الفريون المستخدم في منظومات التبريد الانضغاطية) أحد المحلولين: إما خليط من الأمونيا والماء أو خليط من بروميد الليثيوم والماء. ويستخدم عادة محلول الأمونيا والماء في منظومات التثليج، أما محلول بروميد الليثيوم والماء فإنه يستخدم في منظومات التبريد الاعتيادية المستخدمة لأغراض تكييف الهواء.

٢.١.١. منظومات التبريد السلبية:

إن مهمات منظومات التبريد السلبية (Passive Cooling Systems) هو تقليل انتقال الحرارة للأبنية من المحيط الخارجي، ومبادئ عمل هذه المنظومات تتضمن اختيار الموقع، واتجاه البناية، والأشجار المحيطة بها، والخصائص المعمارية (كنسبة الواجهات إلى حجم البناية، والتظليل، ومساحة النوافذ، وغيرها...)، ومواصفات الهيكل الخارجي (كاستخدام العازل الحراري، وسماكة الجدران ونوع النوافذ).

إن التظليل (Shadowing) ضروري جداً لعملية التبريد، وإن استخدام الأشجار ومظلات النوافذ يمكن أن يقلل درجة الحرارة في النهار داخل المبنى بضع درجات مئوية.

كما أن التهوية الطبيعية مهمة جداً في التبريد السلبي إذا كان الجو جافاً نسبياً، فالتيار الهوائي يمكن أن يقوم بتبخير بعض العرق من الجسم ويشعر الإنسان بالبرودة، والتهوية المناسبة تحتاج إلى فتحات موزعة في المناطق العلوية والسفلية للبناية لتوليد تيار هوائي طبيعي. كما تعتبر المبردات التبخيرية التي تستهلك قدراً قليلاً من الطاقة الكهربائية، مقارنة بالمنظومات الانضغاطية، هي إحدى الوسائل المستخدمة في التبريد في المناطق الحارة والجافة إذ تكون كفاءة هذه المبردات في التبريد عالية جداً في المناطق الجافة.

أما في المناطق ذات الرطوبة العالية فإن معظم المنظومات السلبية لا تعمل بكفاءة، ومنظومات التبريد التبخيري قد لا تعمل بكفاءة – أو لا تعمل إطلاقاً – في المناطق ذات الرطوبة العالية، كما أن هذا النظام لا يعمل في المناطق ذات الإشعاع الليلي للحرارة من الأبنية إلى السماء لكون السماء غير صافية وملبدة بالغيوم، وتوجد تقنية بديلة لمثل هذه المناطق وهي استخدام مواد تقوم بامتصاص الرطوبة من الهواء، وخلال الليل يمرر الهواء على هذه المواد لامتصاص بعض رطوبته، وخلال النهار يتم تجفيف هذه المواد من الرطوبة عن طريق أشعة الشمس.

١.٢. أهمية الطاقة الشمسية:

الشمس هي مصدر الحياة ومصدر الطاقات على الأرض، فالطاقة الشمسية الواصلة إلى سطح الأرض تتحول إلى شكلين رئيسين:

طاقة كيميائية وطاقة حرارية، وكل منها يتجلى بعدة مظاهر تؤدي لنشوء عدد من الطاقات.

فعند سقوط أشعة الشمس على أوراق النباتات تدخر في النبات على شكل طاقة كيميائية عضوية وتشكل هيكلاً للنباتات ومصدراً لغذائه ولغذاء الكائنات الحية بشكل عام.

إن تراكم الكميات الكبيرة من هذه العضويات الحية عبر السنين وخضوعها لظروف مناسبة من الأكسدة والإرجاع حولت الطاقة الكيميائية المختزنة فيها إلى طاقة كيميائية أخرى شكلت مصدر الوقود الأحفوري من النفط والغاز والفحم.

أما الأثر الحراري للطاقة الشمسية فيتجلى ظاهراً عند سقوط الأشعة الشمسية على الغلاف الجوي فيؤدي لتسخينه تسخيناً متفاوتاً وبالتالي لحدوث التيارات الهوائية وبالتالي ظهور طاقة الرياح، وعندما تتبخر الكميات الهائلة من مياه البحار والمحيطات فهي تشكل مصدر للطاقة المائية على الأرض والتسخين المباشر لسطح البحار والمحيطات يؤدي لارتفاع درجة حرارة السطح مع المحافظة على درجة الحرارة منخفضة في القاع.

فالطاقة الناتجة من هذه الظاهرة تعرف بالطاقة الحرارية في البحار والمحيطات، وطاقة المد والجزر ترتبط مباشرة مع الشمس ولو بشكل ضئيل أي بمدى قربها أو بعدها عن الأرض، ويعتقد أن الطاقة الكامنة الجوفية في سطح الأرض هي طاقة مستمدة من الشمس

لأن معظم النظريات الحديثة تؤكد أن الأرض تعود في منشئها إلى الشمس فهي انفصلت عن الشمس (الكوكب الأم) وبردت قشرتها الخارجية أما أعماقها فما زالت ملتهبة تشع الحرارة إلى كافة الجهات [1,2].

٣.١. مزايا الطاقة الشمسية بالمقارنة مع الوقود التقليدي:

الفيض الطبيعي الأعظمي في يوم مشرق بدون غيوم والشمس مباشرة فوق الرأس سيؤدي إلى إشعاع شمسي قادر على تسخين السطح المقابل الغير مبرد بأي جريان لسائل أو أي شيء آخر حتى ($65C^{\circ}$) تركيز أشعة شمس أكثر يمكن أن ينجز درجة حرارة أعلى، وبالتالي كفاءة أعلى، أي ستكون نتيجة كفاءة إنتاج الطاقة للمحطة الحرارية الشمسية مماثلة لأي محطة حرارية أخرى.

بدأت صناعة هذه الخلايا في الخمسينيات وقد صنعت الخلية الشمسية الأولى من السيليكون ومنذ ذلك الوقت وحتى الآن أدخلت تعديلات عديدة في كيفية صناعة هذه الخلايا وكذلك توسيع قاعدة المواد التي تصلح لهذه الخلايا، ولا زالت الأبحاث جارية في هذا المضمار وذلك لتخفيض تكلفة هذه الخلايا التي لا زالت عالية حتى الآن، ويتم حالياً لبحث عن نماذج خلاف الخلايا السيليكونية مثل: كادميوم – كبريتيد النحاس – كبريتيد كادميوم.

فهذه الطاقة تتميز بمواصفات تجعلها الأفضل بدون منازع لجميع أنواع الطاقات الأخرى، وهي:

- *طاقة هائلة يمكن استغلالها في أي مكان.*
- *تشكل مصدراً مجانياً للوقود الذي لا ينضب.*
- *طاقة نظيفة لا تنتج أي نوع من أنواع التلوث البيئي.*
- *محدودية مصادر الطاقة التقليدية.*

وربما كان لهدوء الشمس الزائد دور كبير في إهمال الناس لها ونسيانها، إلا أن أزمة الطاقة الحالية والتهديدات المطروحة أمام الحضارة الحديثة في حال نضوب الوقود الأحفوري أعاد الأذهان للتفكير باستغلال الطاقة الشمسية، حيث نرى أن الأبحاث اليوم جادة لتطوير هذا المصدر الطاقي ووضعه قيد الاستثمار الفعلي على نطاق واسع، إذ أن العالم الآن بدأ يدرك أهمية هذه الطاقة وإمكاناتها الكبيرة في حل أزمة الطاقة المقبلة.

بما أن الشمس تسطع في سوريا بمعدل ٣٠٠ يوم في السنة فإن معدل الإشعاع الشمسي يقع بحدود (700–2000 kW) سنوياً. وطالما أننا بصدد دراسة طاقة مصدرها الشمس فلا بد أن نتعرف على المجموعة الشمسية التي تتكون من الشمس وتسعة كواكب ومن هؤلاء التسعة كوكبنا الأرض والكواكب لا تصدر ضوء بذاتها ولكنه انعكاس لما يصلها من أشعة الشمس. وتدور الكواكب حول الشمس في مدارات مختلفة وبسرعة مختلفة كما تدور الالكترونات حول النواة في مدارات مختلفة [1,2].

٤.١. استثمارات الطاقة الشمسية في الوطن العربي:

يدرك العاملون في مجال الطاقة أن الأراضي العربية هي من أغنى مناطق العالم بالطاقة الشمسية ويتبين ذلك بالمقارنة مع بعض دول العالم الأخرى ولو أخذنا متوسط ما يصل الأرض العربية من طاقة شمسية وافترضنا أن الخلايا الشمسية بمعامل تحويل ٥% وقمنا بوضع هذه الخلايا الشمسية على مساحة ١٦٠٠٠ كيلو متر مربع في صحراء العراق الغربية وأصبح بإمكاننا توليد طاقة كهربائية تساوي ($400x10^4$ MW/h) أي ما يزيد عن خمسة أضعاف ما نحتاجه اليوم وفي حالة فترة الاستهلاك القصوى.

من البديهي أيضاً أن طاقتنا النفطية ستنضب بعد مائة عام على الأكثر وهو أحسن المصادر للطاقة وذلك لعدم وجود كميات كبيرة من مادة اليورانيوم في بلداننا العربية بالإضافة إلى تكلفة أجهزة الطاقة وتقدم تكنولوجيتها خلال السنوات الخمسين الماضية وإمكانية عدم اللحاق بها وهو ما جعلنا مقصرين في استثمارها ونأمل أن لا تفوتنا الفرصة في خلق تكنولوجيات عربية لاستغلال الطاقة الشمسية وهي لا زالت في بداية تطورها. إن لاستعمال بدائل الطاقة مردودين مهمين أولهما جعل فترة استعمال الطاقة النفطية طويلة وثانيهما تطوير مصدر للطاقة آخر بجانب مصدر النفط الحالي. ومن التجارب المحدودة لاستخدامات الطاقة الشمسية في البلاد العربية:

- تسخين المياه والتدفئة وتسخين برك السباحة بواسطة الطاقة الشمسية أصبحت طريقة اقتصادية في البلدان العربية وخاصة في حالة تصنيع السخانات الشمسية محلياً.
- تعتبر الطاقة الشمسية أحسن وسيلة للتبريد حيث أنه كلما زاد الإشعاع الشمسي كلما حصلنا على التبريد وكلما كانت أجهزة التبريد الشمسي أكثر كفاءة، ولكن تكلفة

التبريد الشمسي تكون أعلى من السعر الحالي للتبريد بثلاثة إلى خمسة أضـــعاف تكلفتـــه الاعتيادية ويعود السبب لارتفاع التكلفة لمواد التبريد الشمسي ومعدات تجميـــع الحـــرارة وتوليد الكهرباء، ولو استعرضنا البحث والتطبيقات السارية للطاقة الشمسية في الـــوطن العربي لتبين لنا أن استخدام السخانات الشمسية أصبح شيئاً مألوفاً فـــي بعـــض البلـــدان العربية بينما بقيت صناعة الخلايا بصورة تجارية متأخرة في جميع البلدان العربية بسبب تكلفة إنشاء المصنع الأولية وإتباع سياسة التأمل القائلة (يجب الانتظار ريثما تـــنخفض التكلفة).

إن معظم التجارب الميدانية والمختبرة لاستغلال الطاقة الشمسية في الـــوطن العربـــي لا تزال في مراحلها الأولى ويجب تنشيطها والإكثار منها ولو استعرضنا ما تقوم بـــه دول العالم في هذا المجال وبخاصة الدول المتقدمة صناعياً والتي لا تملك خمس مـــا تملكـــه الدول العربية من الطاقة الشمسية لوجدنا أن بريطانيا وحدها تنفق على مشاريع الطاقـــة الشمسية ما يعادل جميع ما تنفقه الدول العربية مجتمعة وينطبق هذا على عدد العاملين في مجالات الطاقة المتجددة حيث يعمل في فرنسا ضعف الذين يعملون فـــي جميـــع الـــدول العربية في هذه المجالات [1].

٥.١ . كيفية استغلال الإشعاع الشمسي:

ذكرنا أن الطاقة الكهربائية والحرارية هي أهم تطبيقات هذه الأنظمة ... ندخل الآن فـــي بعض المفاهيم التي تقرب للأذهان كيفية العمل .... لذلك نعيد شرح الخلية الشمسية والتي هي الركيزة الأساسية للعمل.

إن الخلية الشمسية هي وصلة ثنائية (ديود ... diode) من أشباه الموصلات بحيث أن الضوء الساقط على سطحها يستطيع أن ينفذ إلى منطقـــة الاتصـــال (p–n junction) حيث تتحول الأشعة الساقطة على الخلية الشمسية إلى طاقة كهربائية.

وتعرف المادة شبه الموصلة كالآتي:

المادة شبه الموصلة هي عناصر رباعية التكافؤ (يحتوي غلاف الذرة الخـــارجي علـــى أربعة الكترونات) ترتبط ذراتها ببعضها البعض بروابط تساهمية وتكون عازلة تماماً في

درجة الصفر المطلق وتزداد درجة توصيلها بارتفاع درجة حرارتها أو عند تسليط فرق جهد كهربائي عليها أو عند تعرضه لإشعاع بطاقة كافية وهي نوعان:

- مواد شبه موصلة نقية: إن لهذه المواد ترتيباً بلورياً إذ تترتب ذراتها وفق نظام هندسي جميل ومن أمثلتها (السيليكون) الذي يحتوي ١٤ إلكتروناً ... عشرة من هذه الالكترونات مرتبطة بالنواة .. و ٤ منها تكون في الغلاف الخارجي لنواة الذرة والجرمانيوم الذي يحتوي على ٣٢ إلكتروناً منها ٢٨ إلكترون مرتبط بالنواة و٤ منها في الغلاف الخارجي.
- *مواد شبه موصلة مشوبة (غير نقية):* هي نفس المواد السابقة (السيليكون والجرمانيوم) لكن تمت إضافة نسبة من الشوائب إليها (مثل الزرنيخ، الأنتيمون، الفسفور، الغاليوم، الأنديوم والبورون) وذلك للسيطرة على عملية التوصيل الكهربائي .... وكي يكون مقدار هذا التوصيل ملبي للأغراض العملية.

هذه المواد شبه الموصلة الغير نقية تقسم بدورها إلى قسمين:

قسم نوع N: بلورات لمواد شبه موصل مشوبة بذرات عناصر خماسية التكافؤ (زرنيخ أو أنتيمون أو فسفور) ... وناقلات الشحنة الكهربائية فيها هي الالكترونات الحرة ..

قسم نوع P: بلورات لمواد شبه موصلة مشوبة بذرات عناصر ثلاثية التكافؤ (الجاليوم، والأنديوم والباريوم) ناقلات الشحنة فيها هي الفجوات (هي الفراغ الذي يخلفه الإلكترون المتحرر من الرابطة التساهمية بسبب ارتفاع درجة حرارة بلورة شبه الموصل).

الآن عندما نشوب بلورة شبه موصل نقي في أحد جانبيها شوائب خماسية التكافؤ وفي الجانب الآخر شوائب ثلاثية التكافؤ [1] .

٦.١. المجمعات الشمسية:

الطاقة الشمسية المستقبلة على الأرض غير كافية للأغراض التقنية ويجب أن تجمع وتركز لأجل الاستعمال التقني.

تعتبر اللواقط قلب أي نظام تسخين يستخدم سائل تشغيل، حيث يعتمد أداء هــذه اللــواقط بشكل كبير على نسبة الإشعاع الشمسي المنقول إلى سائل التشغيل والتي تعتمد بــدورها أيضا على درجة حرارة سائل التشغيل.

إن نسبة الإشعاع الشمسي المفيد يعتمد على ميل اللاقط وتوجيهه وكــذلك علــى درجــة حرارة سائل التشغيل والبارامترات المحيطة مثل سرعة الرياح ودرجات الحرارة وشــدة الإشعاع الشمسي.

يمكن تصنيف اللواقط حسب درجات حرارة سائل التشغيل إلــى منخفضــة ومتوســطة وعالية.

اللواقط ذات درجة الحرارة المنخفضة تمتد من درجات حرارة قليلة فوق درجة حــرارة الوسط المحيط وحتى 100 C°. غالباً ما تكون هذه اللواقط مسطحة وتســتخدم بشــكل أساسي للتسخين وأعمال التكييف الموسمية (خصوصاً عند استخدام بروميد الليثيوم مــع الماء)

اللواقط ذات الحرارة المتوسطة تعطي درجات حرارة 70–100 C° وتضــم اللــواقط المفرغة من الهواء ذات التركيز الخفيف تستخدم للتكييف والتسخين الصناعي.

اللواقط ذات درجات الحرارة العالية تستخدم التكثيف المتوسط والعالي للأشعة الشمســية وتستخدم في الأعمال الصناعية وتوليد الكهرباء ....

يمكن أيضاً تصنيف اللواقط إلى لواقط عاملة على السائل ولواقط عاملة على الغاز وغالباً ما تكون اللواقط العاملة على السائل أفضل من اللواقط الغازية، على كل حال من أجــل بعض التطبيقات «تجفيف، تسخين، غاز، فإنه من اللازم استخدام اللواقط الغازية.

اللواقط المسطحة تفضل بشكل عام من أجل درجــات الحــرارة 50– 100 C° وذلــك بسبب بساطة التكنولوجيا المستخدمة من أجل التصنيع والصــيانة والأداء الجيــد عنــد درجات الحرارة المنخفضة، هذا بالإضافة للمردود الضوئي الجيد والانتفاع من الأشــعة المنعكسة.

السيئة الوحيدة لهذه اللواقط هي الضياعات الحرارية العالية نسبياً بسبب المساحة الكبيــرة نسبياً والتي غالباً ما تكون كامل مساحة اللاقط [2] .

١.٦.١. أنواع اللواقط:

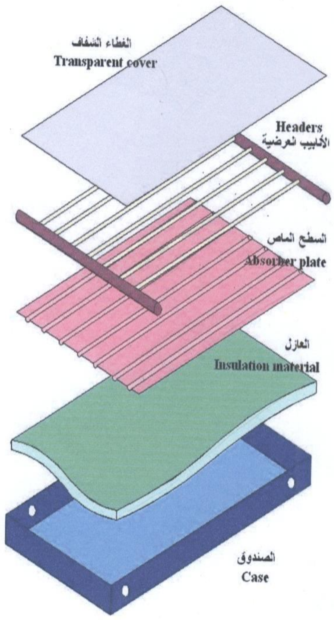
- **اللواقط المسطحة:**

من الملاحظ أن وسيط التشغيل هو إما الغاز أو السائل وكلا النظامين ممكن، في معظم الحالات يكون السائل العامل هو الماء. في بعض التطبيقات يمكن أن يكون سائل عضوي أو محلول للماء مع مانع تجمد. أما الهواء فهو وسيط التشغيل الأساسي للواقط الغازية.

بشكل عام المجمع الصفيحي المسطح بسيط غير معقد التصميم وبدون ميكانيزم توجيه (الشكل ١.١)، يستطيع تجميع الطاقة الشمسية عند مستويات درجة حرارة معتدلة، درجات الحرارة المستخدمة للتدفئة والتبريد معتدلة ولذلك فإن هذه المجمعات عامة الاستخدام.

للحصول على تجميع أعظمي تتم إمالة المجمع المسطح بزاوية مثلى على سطح الأرض مساوية زاوية خط العرض، من أجل الأداء على مدار السنة حيث الطلب على الطاقة شتاءً أكبر بعض الشيء منه صيفاً، فإن زاوية الميل المثلى على الوضع الأفقي تكون أكبر بمعدل ١٠ إلى ٢٠ درجة من زاوية العرض.

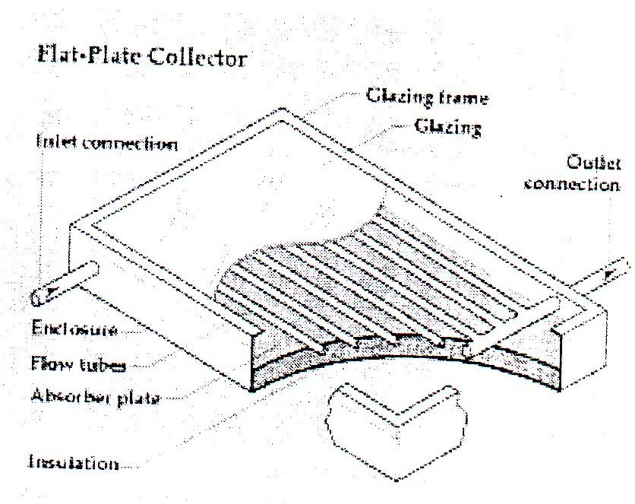




الشكل (١.١): أجزاء اللاقط الشمسي المسطح

- **اللواقط المائية المسطحة:**

إن الجزء الرئيسي الشمسي هو الصفيحة الماصة وهي غالباً من النحاس أو الألمنيوم المغطى بطلاء أسود ماص أو طلاء خاص حيث أن الطلاء الخاص يزيد من معامل الامتصاص للأمواج القصيرة في الطيف الضوئي ويقلل من إصدار الأمواج الطويلة من الصفيحة الساخنة. تنتقل الحرارة إلى سائل التشغيل من خلال الأنابيب التي تتوزع بين مجمعين رئيسيين وتلتصق مع الصفيحة (الشكل ٢.١).



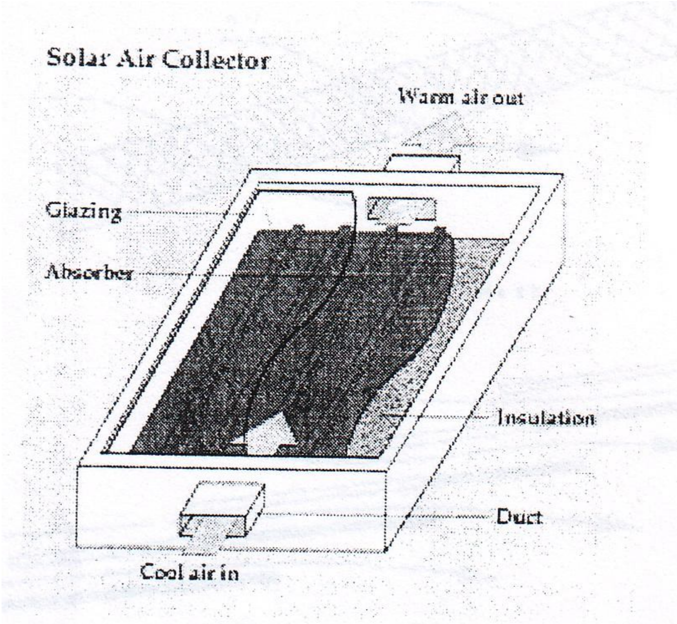
الشكل (٢.١): اللاقط المائي المسطح

- **المجمعات المسطحة الغازية:**

يوجد لها نوعين رئيسيين وهي المسامية وغير المسامية:
بشكل عام الغطاء والصندوق تكون واحدة من أجل المجمعات المائية والغازية أما الاختلاف في الصفيحة الماصة ومجرى الهواء.

- **من أجل اللواقط الغير مسامية:**

اللوح الماص مشابه للوح المائي مع بعض التعديلات من أجل زيادة الفعالية الحرارية وذلك نظراً لضعف الانتقال الحراري للهواء مقارنة بالماء.
يمكن تحسين عامل الانتقال الحراري من خلال الترييش أو من خلال زيادة الجيشان الغازي من خلال تخشين السطح السفلي للاقط (الشكل ٣.١).



الشكل (٣.١): لاقط هوائي غير مسامي

في بعض الحالات تزداد مساحة اللاقط من خلال استخدام صفيحة ماصة متموجة بحيث يسمح للغاز بالجريان أعلى وأسفل الصفيحة. إن زيادة تفعيل انتقال الحرارة بالحمل سيزيد من الضياعات الحرارية إلى الجو المحيط.

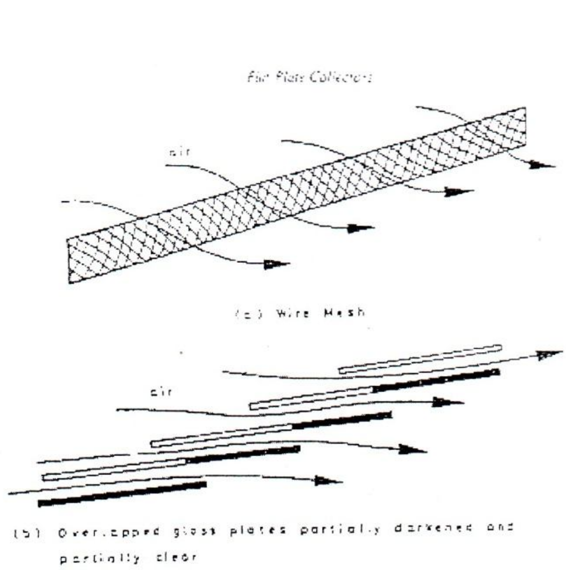
- **في حال اللواقط المسامية:**

يتم جريان الماء من خلال مسامات في الصفحة الماصة هذه المسامات يمكن أن تكون من شبكة أسلاك الشكل أو تركيبة تشبه خلايا النحل أو أية تركيبة أخرى تزيد من الاستفادة من الطاقة الشمسية.

أيضاً يمكن استخدام الصفائح الزجاجية المتراكبة النصف مظللة حيث يكون الجزء الأسود ماصاً والجزء ممر للإشعاع الحراري.

الضياعات الحرارية إلى الجو المحيط تعود بشكل أساسي إلى الأجزاء الصافية والتي تكون عادة عند درجة حرارة منخفضة مقارنة بالأجزاء السوداء.

إن امتصاص الإشعاع الشمسي في حالة الشبك عوضاً عن الصفيحة الماصة له محاسن من حيث أن درجة الحرارة العظمى من الشبك الماص لا تكون على السطح ولكن على بعد محدد نحو العمق وبالتالي الضياع بالأمواج الطويلة ينخفض حيث أنه تابع لدرجة حرارة سطح الشبك.



الشكل (٤.١): اللواقط الغازية

- **اللواقط المفرغة:**

تتكون من أنابيب زجاجية مغلقة ومفرغة من الهواء وتتوضع ضمنها أنابيب السائل المثبتة على صفيحة امتصاص سوداء، تتصل أنابيب السائل بمجمعين للدخول والخروج وتتميز هذه اللواقط بمردود عالي نظراً لانعدام الضياعات الحرارية بالحمل.

- **اللواقط المركزة:**

تظهر الحاجة لتركيز الأشعة الشمسية عندما يراد الحصول على درجات مرتفعة (أكبر من $100C^{\circ}$) ويستخدم لهذا الغرض الأجهزة ذات العدسات البصرية المقربة أو المرايا المقعرة التي يمكن أن تركز على الأشعة الشمسية المتوازية الساقطة عليها في الحرق الشمسي،وللحصول على أداء أفضل فإنه يتوجب أن يكون سقوط الأشعة الشمسية المباشرة موازياً للخط المحرقي (الخط الواصل بين رأس المرآة ومحرقها) ولتحقيق ذلك يجب استخدام جهاز المتابعة الشمسية أو ما يسمى الملاحق الشمسي.

تحتوي المجمعات التركيزية مرايا مجهزة بشكل قطع مكافئ لتقوم بالتركيز على سخان صغير، يجب أن يوجه مجسم القطع المكافئ بشكل مستمر إلى الشمس. ويتألف المجمع من عاكس مكافئ المقطع لتركيز الأشعة الشمسية على أنابيب تجميع، ومن ميكانيزم توجيه.

عندما يكون حجم القطع المكافئ كبير الحجم فإن استمرار توجيه المركز يصبح صعباً، هناك مرايا إضافية مستوية تدعى هيلوستات (مرايا عاكسة لأشعة الشمس) تعكس أشعة الشمس على المركز. الهيلوستات هو الجزء المتحرك في النظام.

تحتاج المجمعات التركيزية لسطوح عاكسة عالية الجودة، تستخدم عادة الفضة والألمنيوم، تعد الفضة أفضل لعكس الأشعة، ولكن بسبب التآكل السريع لا يمكن أن يعرض السطح الفضي مباشرة إلى الجو. نظراً لرخص ثمن الألمنيوم فإنه يستخدم بشكل عام للمجمعات الكبيرة [1,2] .



الشكل (٥.١): أنظمة شمسية مختلفة

٧.١. تصنيف آلات التبريد:

أولاً: حسب مبدأ العمل:

١. آلات تبريد ضاغطة بخارية:

تستعمل الخواص المرنة للغازات والبخار والتي تظهر عند زيادة درجة الحرارة خلال الانضغاط وهبوط درجة حرارتها عند التمدد. أما في حالة آلات التبريد الغازية لا يطرأ على حالة وسيط التبريد أي تغير. تستعمل هذه الآلات الطاقة الكهربائية أو الميكانيكية كمنبع طاقة [6−3].

٢. آلات تبريد امتصاصية:

وهي تعتمد على مبدأ التفاعلات الحرارية الامتصاصية المتتالية بوسيط من قبل مادة ماصة ثم يتلوه طرح وسيط التبريد قبل المادة الماصة. فعمليات الامتصاص ثم الطرح تلعب دور التمدد والانضغاط الذي ينفذها الضاغط المكبسي الميكانيكي إما بطريقة كيميائية كمنبع للطاقة [6−3] .

٣. آلات تبريد قاذفة بخارية:

تستعمل الطاقة الحركية للبخار المقذوف من فوهة متقاربة متباعدة أومن فوهة حلزونية حيث يغادر البخار الفوهة بسرعة عالية فيحدث تأثير القذف ضغط منخفض في مبخر الآلة، والأبخرة المتشكلة في هذه الحالة تكون باردة يمتصها القاذف ليضغطها ثانية ويوجهها نحو المكثف [6−3].

٤. آلات تبريد كهروحرارية:

وهي تستند إلى ظاهرة «بلتير» حيث تسمح بالحصول على البرودة بالاستعمال المباشر للطاقة الكهربائية، فعند مرور التيار الكهربائي عبر مادتين ملحومتين يلاحظ ظهور فرق بدرجات الحرارة عند نقطة الالتحام. وقد أصبح تطبيقه منتشر بسبب تقدم صناعة أنصاف النواقل [3–6].

٥. آلات تبريد مغناطيسية:

تسمح هذه الآلات بالحصول على البرودة ناتجة عن مغنطة أدبيات للأجسام القابلة للتمغنط حيث تكبر درجة حرارتها وتنخفض عند إزالة الظاهرة. وهي تعتمد على ظاهرة «ايتينغ هاوس» التي تظهر عند مرور التيار الكهربائي خلال أنصاف النواقل الموضوعة في حقل مغناطيسي الأثر الذي يؤدي إلى ظهور تيار حراري متعامد مع اتجاه التيار الكهربائي.

ثانياً: حسب نوع دورة التبريد:

١. آلات تبريد تعمل بدورة مغلقة:

حيث يجتاز وسيط التبريد كل الأجهزة في الآلة على الدوام وتتغير درجة حرارته بين درجتي حرارتي المنبعين الحار والبارد المفروضتين.

٢. آلات تبريد تعمل بدورة مفتوحة:

تتميز هذه الآلات بأن وسيط التبريد المستعمل يخرج من الآلة على شكل ناتج مفيد مثل آلات تمييع الهواء.

ثالثاً: حسب استمرارية العمل فيها:

١. آلات تبريد ذات تشغيل مستمر ومستقر:

من هذه الآلات: آلات تبريد ضاغطة تجارية وامتصاصية وقاذفة بخارية.

٢. آلات تبريد ذات تشغيل متقطع وغير مستمر:

مثل آلات التبريد الامتصاصية التي يلعب فيها المبادل الحراري دور المكثف ثم المنجز على التناوب وفيها تبادل حراري آخر يلعب دور مولد البخار ووعاء الامتصاص على التناوب، فتصبح الآلة أصغر حجماً وأقل كلفة.

٨.١. آلات التبريد الامتصاصية:

لقد نالت تطبيقات التبريد والتكييف بالطاقة الشمسية اهتماماً ملحوظاً في العشرين سنة الأخيرة والسبب في ذلك يعود إلى أن تغير الطاقة الشمسية يكون متناسباً مع تغير الحمل الحراري المطلوب.

في الواقع من الممكن تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية ثم استعمال هذه الطاقة لإدارة آلة تبريد عادية ولكن المشكلة الأساسية هي مردود عملية التحويل هذه حيث سوف تعاني من الكثير من الفواقد خلال عمليات التحويل المتكررة، لذلك أخذت دارة التبريد الامتصاصية الاهتمام الأكبر عن طريق تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة تبريدية مع استخدام ضئيل للطاقة الكهربائية [7–8] .

لقد طورت عدة أنظمة وطرق من أجل تحسين أداء الدارة الامتصاصية وجعل عملها يمتد إلى ما بعد فترات الإشعاع الشمسي مثل إضافة خزانات حرارية ساخنة وباردة ومجمعات سائل ..الخ .

يعتمد مبدأ عمل آلات التبريد الامتصاصية في سحب الحرارة من المكان المبرّد وطرحها إلى الوسط الخارجي عن طريق استهلاك طاقة حرارية ذات درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط [9].

اعتمدت الآلات الضاغطة البخارية على صرف قدرة ميكانيكية عن طريق وجود ضاغط والذي يقوم برفع ضغط وسيط التبريد من الضغط المنخفض إلى الضغط المرتفع.

يمكن استخدام نظام التبريد بالامتصاص لسعات تبريد تتراوح بين 100 وات للثلاجات المنزلية وثلاجات الرحلات وسعات كبيرة تصل إلى حوالي 3000 طن تبريد للعمليات الصناعية المختلفة.

١.٨.١. سبب استخدام آلات التبريد الامتصاصية:

العمل اللازم لرفع ضغط سائل ما هو أقل من العمل اللازم لرفع ضغط بخار هذا السائل ولذا يمكن إنقاص العمل المستهلك في آلة التبريد إذا أمكن رفع ضغط وسيط التبريد وهو في الحالة السائلة . للقيام بذلك نقوم بسحب الأبخرة في المبخّر ونحوّلها إلى سائل ثم نقوم بضغط هذا السائل إلى ضغط التكثيف.

هناك بعض الظروف الخاصة التي نحتاج فيها للتبريد ولا يكون لدينا كهرباء، فماذا نفعل؟ لا بد هنا أن نتذكر العالم الفرنسي (كاري) الذي قدم لنا أقدم نظام تبريد معروف ، وهو نظام التبريد بالامتصاص ، حيث لا يحتاج هذا النظام إلى كهرباء بل يحتاج إلى نار!!.

ينتشر استخدام هذا النوع من آلات التبريد في المنشآت الصناعية التي يوجد فيها فائض من الطاقة الحرارية.

٢.٨.١. مبدأ عمل آلة التبريد الامتصاصية:

بما أن عمل آلة التبريد الامتصاصية يعتمد على سحب الحرارة من المكان المطلوب تبريده و طرحها إلى الوسط الخارجي فمن الواضح أن أساس العمل هو الاعتماد على التبادل الحراري بين وسيطين ولذا يجب على أحد الوسيطين أن يمتص الحرارة من الوسيط الثاني ويتبخر ومن ثم يقوم بطرح هذه الحرارة في مكان آخر (المكثف مثلاً). انطلاقاً من ذلك فإن عملية التبادل الحراري ستكون أفضل كلما كان الفرق كبيراً بين درجتي حرارة تبخّر الوسيطين و بالتالي لن يكون هناك تعقيداً في عملية تصميم آلة التبريد الامتصاصية.

بشكل عام فإن دارة التبريد الامتصاصية ستتم باستخدام محلول ثنائي يتألف من وسيط تبريد ومادة ماصة، وتتصف المادة الماصة في كون درجة حرارة تبخرها أعلى بكثير من درجة حرارة التبخر لوسيط التبريد وأكثر المحاليل استعمالا هي: محلول الأمونياك مع

الماء على اعتبار الأمونياك وسيط التبريد والماء كمادة ماصة، محلول الماء وبروميد الليثيوم (LiBr) ويعتبر الماء وسيط التبريد وبروميد الليثيوم هو المادة الماصة، وقد تكون هذه المواد صلبة أو سائلة [10-14].

٣.٨.١. أنواع آلة التبريد الامتصاصية:

يوجد حالياً نوعان أساسيان لوسيط التبريد المستخدم وهما محلول الأمونيا والماء ($NH_3–H_2o$) ومحلول الماء وبروميد الليثيوم ($H_2o–LiBr$)، إن اختيار أحد هذين الوسيطين يعتمد أساساً على مواصفات التشغيل ودرجات الحرارة المطلوبة والأحمال الحرارية المطلوب إزالتها.

بالإضافة لذلك يجب أن يتمتع وسيط التبريد بالمواصفات التالية:

١-غياب الطور الصلب للمادة الماصة.

٢-وسيط التبريد قابل للتطاير بشكل كبير أكثر من المادة الماصة عند التسخين في المولد.

٣-انجذاب قليل للمادة الماصة نحو وسيط التبريد.

٤-الثبات خلال فترات العمل الطويلة.

٥-حرارة كامنة مرتفعة لوسيط التبريد تؤمن نسب تدوير منخفضة وعوامل أمان جيدة.

٦-لزوجة قليلة للمحلول في ظروف التشغيل.

٧-ابتعاد المحلول عن نقطة التجمد من أجل أخفض درجة حرارة ممكنة في الدارة.

يلاحظ من خلال المقارنات الأمور التالية:

A) محلول بروميد الليثيوم مع الماء يعمل بشكل أفضل عند درجات حرارة مرتفعة للوسط الخارجي من محلول الماء والأمونيا.

B) إن ازدياد معامل مردود الدارة يرتفع بشكل ملحوظ في دارة بروميد الليثيوم من أجل ارتفاع درجة حرارة المولد.

C) نسبة التدوير أقل من أجل محلول الماء مع الأمونيا من محلول بروميد الليثيوم مع الماء.

D) نسبة عمل المضخة إلى الحرارة المقدمة أقل من أجل محلول بروميد الليثيوم مع الماء.

E) عوامل أمان أفضل لمحلول بروميد الليثيوم مع الماء من الماء مع الأمونيا.

١.٨.٤. مقارنة أداء كل من دارات بروميد الليثيوم والماء مع النشادر والماء حسب الظروف المختلفة:

من خلال الدراسات التي أجراها الباحثون [9–17] للمقارنة بين كل من محلول الماء مع الأمونيا

(NH_3–H_2o) ومحلول بروميد الليثيوم مع الماء (H_2o–LiBr) نجد:

١–بساطة نظام محلول بروميد الليثيوم مع الماء من الماء مع الأمونيا.

٢–عند درجة حرارة متماثلة للمولد ونفس الظروف فإن COP لمحلول بروميد الليثيوم مع الماء أفضل من الماء مع الأمونيا.

٣–يعاني محلول بروميد الليثيوم مع الماء من التبلور في بعض نقاط الدارة خصوصاً في الوعاء الماص.

٤–ارتفاع ضغط التكاثف لمحلول الماء مع الأمونيا.

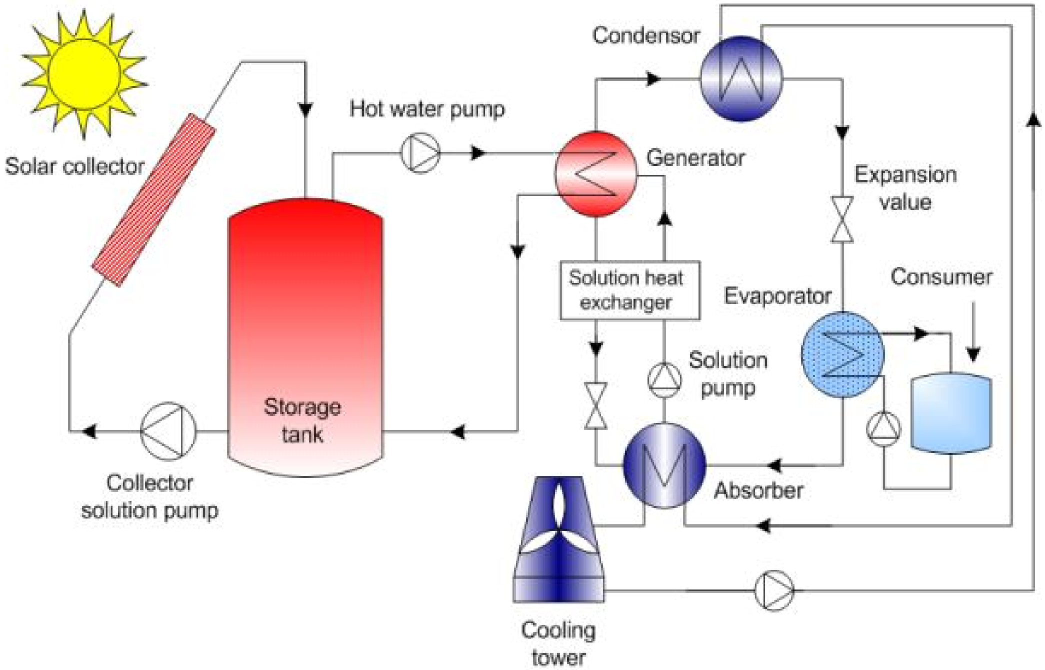
٥–إمكانية تشغيل محلول بروميد الليثيوم مع الماء بالمجمعات السطحية.

٦–نسبة انضغاط أعلى للماء مع الأمونيا مما يزيد من استهلاك الطاقة الكهربائية.

٧-خطورة الانفجار لدارة الماء مع الأمونيا حيث لا يمكن استخدامها من أجل التطبيقات السكنية.

مما سبق نجد أن استخدام بروميد الليثيوم مع الماء كوسيط تشغيل للدارة الامتصاصية هو **أكثر** ملائمة للعمل خصوصاً إمكانية التشغيل بالمجمعات المسطحة بالإضافة لعامل الأمان.

٥.٨.١. عناصر الدارة الامتصاصية العاملة باستخدام بروميد الليثيوم مع الماء:



الشكل (٦.١): منشأة دارة تبريد امتصاصية شمسية

تتألف الدارة الامتصاصية البسيطة (الشكل ٦.١) من خمسة عناصر رئيسية وهي:

١. المولد:

تتم في المولد عملية توليد بخار وسيط التبريد (بخار الماء) نتيجة لغليان محلول بروميد الليثيوم مع الماء وهو عبارة عن وعاء يوجد بداخله أنابيب يمر فيها الماء الساخن القادم من مجمع الماء الساخن في دارة اللواقط الشمسية.

تتكون أنابيب المولد من النحاس أو الستانلس ستيل وهو المفضل.

إن أقل درجة حرارة مسموح بها ضمن المولد (حسب درجة حرارة التكاثف وهي 30C°) لتأمين تبخر وسيط التبريد هي 59C° وكذلك فإن أعلى درجة هي 80C° لمنع تبلور بروميد الليثيوم على مدخل الوعاء الماص.

٢. المبخر:

عبارة عن مبادل حراري يتم فيه تبريد وسيط التشغيل المار من وشيعة التبريد (الماء) عن طريق تساقط وسيط التبريد على حزم متعددة من الأنابيب. وهو غالباً من النحاس أو خليطة النحاس مع النيكل، درجة حرارة المبخر المطلوب حسب درجة حرارة وشيعة التبريد هي 7C°.

٣. الوعاء الماص:

عبارة عن وعاء يتم فيه امتصاص بخار الماء من قبل المحلول بعد خروجه من المبخر تنتج عن هذه العملية كمية من الحرارة تتم إزالتها عن طريق برج التبريد المربوط مع المكثف، الوعاء الماص مصنوع من الفولاذ الطري أما أنابيب التبريد فهي من خلائط النحاس مع النيكل.

إن أقل درجة حرارة مسموح بها على مخرج وعاء الامتصاص " حسب معطيات درجة حرارة كل من المكثف والمبخر" هي 30C° لمنع تبخر الماء في خط سحب المضخة وبالتالي توقف الآلة.

٤. المكثف:

مبادل حراري يتم فيه تبريد بخار الماء "وسيط التبريد" القادم من المولد. يتوضع المكثف قرب المولد حيث يتكاثف بخار وسيط التبريد خارجياً على أنابيب المكثف المصنوعة من الستانلس ستيل. يتم تبريد المكثف بالهواء أو الماء وهو المستخدم في الدارة لدينا حيث أن درجة حرارة التكاثف هي 30C°.

٥. المضخة:

مهمة المضخة تدوير وسيط التبريد والمحلول الماص في الدارة وتأمين فرق الضغط اللازم.

٦. **المبادل الحراري:**

يقوم المبادل الحراري بعملية تسخين للمحلول بعد المضخة وقبل دخوله للمولد عن طريق التبادل الحراري بين المحلول الفقير الساخن القادم إلى الوعاء الماص والمحلول الغني بعد المضخة وذلك بهدف إنقاص كمية الحرارة المطلوبة في المولد وبالتالي تحسين معامل أداء للدارة [18].

٧. **صمامي التمدد:**

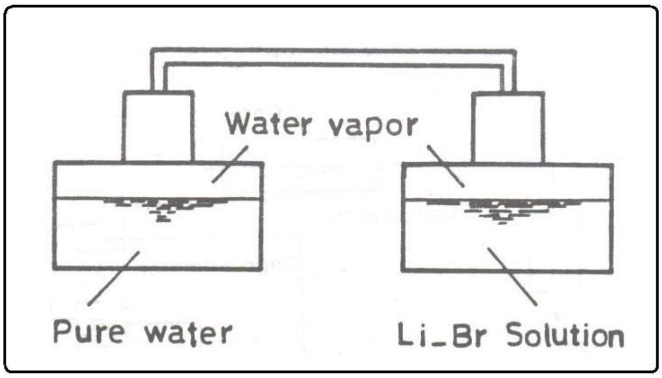
عبارة عن صمام تمدد بهدف تخفيض ضغط وسيط التبريد بين المكثف والمبخر وكذلك تخفيض ضغط المحلول الفقير بين المولد والوعاء الماص.

يمكن أن تضاف للدارة بعض العناصر التالية:

- **مانع للصدأ** : عبارة عن كرومات الليثيوم أو نترات الليثيوم وذلك بهدف حماية الأجزاء الداخلية من الصدأ. يجب أن تكون درجة الـــ PH لهذه الموانع مقبولة حيث يتم التحكم بدرجة الـــ PH عن طريق إضافة هيدروكسيد الليثيوم.
- **محسنات الأداء:** تستخدم لتحسين أداء الدارة ومعامل انتقال الحرارة أهم هذه المحسنات أوكتيلات الكحول.

خواص محلول (H2O + LiB):

بروميد الليثيوم عبارة عن ملح صلب عند امتصاصه لبخار الماء يتحول إلى محلول ملحي (الشكل ٧.١). يتوقف ضغط بخار الماء فوق سطح المحلول على درجة حرارة المحلول و نسبة تركيزه.



الشكل (٧.١): امتصاص أبخرة الماء

يوضح الشكل السابق وعاءان احدهما به ماء نقي (المكثف أو المبخر) و الآخر به محلول بروميد الليثيوم (المولد أو الماص). عند اتصال المكثف بالمولد أو اتصال المبخر بالماص يكون ضغط بخار الماء في الوعائين واحد و المناظر لدرجة حرارة تكثيف البخار للمكثف و المولد و المناظر لدرجة تبخير بخار الماء للمبخر و الماص .

الفصل الثاني

دارات التبريد الامتصاصية

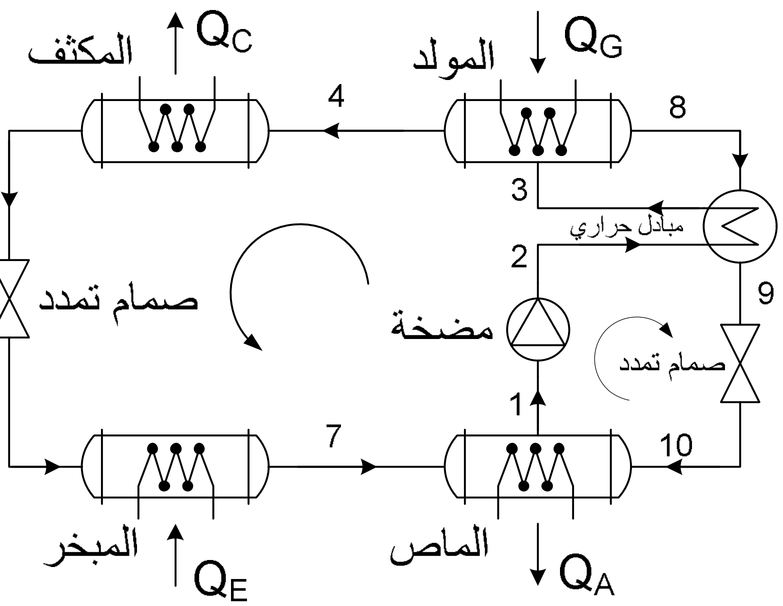
٢.١. مقدمة:

يمكن من حيث المبدأ تحويل الطاقة الحرارية الشمسية إلى طاقة كهربائية ثم تغذيتها إلى آلة تبريد انضغاطية أو جهاز تكييف هواء للحصول على الإنتاجية التبريدية المطلوبة، إلا أن هذه الطريقة لاستخدام الطاقة الشمسية في التبريد والتكييف غير مجدية اقتصاديا مما يدعو إلى ضرورة البحث عن طرق أخرى للاستفادة من الطاقة الحرارية الشمسية مباشرة بدلاً من تحويلها إلى طاقة كهربائية.

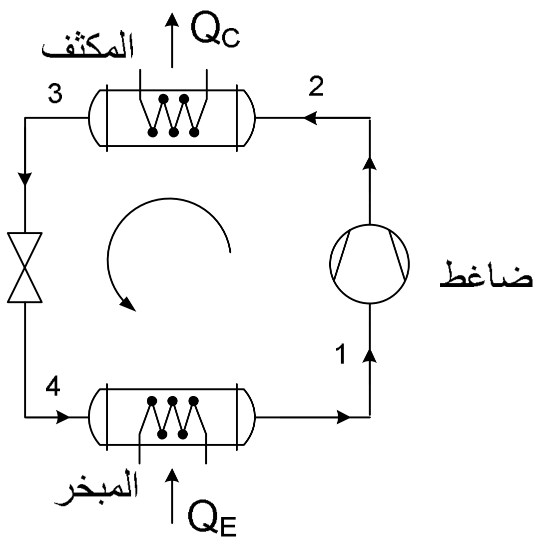
باعتبار أن آلة التبريد الامتصاصية تعمل بشكل أساسي باستخدام الطاقة الحرارية ولا تحتاج إلا إلى قدر ضئيل من الطاقة الكهربائية فيمكن تشغيلها من حيث المبدأ باستخدام الطاقة الشمسية الحرارية أو بشكل عام باستخدام الطاقات المتجددة الحرارية.

٢.٢. دارة التبريد الامتصاصية:

يوضح الشكل (٢.١) المخطط التوضيحي لدارة تبريد امتصاصية، حيث تختلف هذه الدارة عن دارة التبريد الانضغاطية (الشكل ٢.٢) باستبدال الضاغط بمجموعة مكونة من أربع عناصر وهي (المولد، الماص، المضخة، صمام التمدد) تسمى هذه المجموعة بالضاغط الحراري باعتبارها تقوم بنفس مهمة الضاغط الكهربائي في آلة التبريد الانضغاطية. يضاف إلى هذه المجموعة مبادل حراري لرفع درجة حرارة المحلول الداخل إلى المولد وبالتالي تحسين معامل أداء دارة التبريد الامتصاصية [19].



الشكل (١.٢): دارة التبريد الامتصاصية



الشكل (٢.٢): دارة التبريد الانضغاطية

تستخدم دارة التبريد الامتصاصية محلولاً متجانساً من مادتين هما مادة التبريد والمادة الماصة، حيث يتم فصل مادة التبريد عن المادة الماصة في المولد على شكل بخار مقاد إلى المكثف. تعمل دارة التبريد الامتصاصية عند ضغطين مختلفين، أما الضغط العالي فهو

ضغط المولد الذي يتساوى مع ضغط المكثف، وأما الضغط المنخفض فهو ضغط الماص الذي يتساوى مع ضغط المبخر، وتقوم المضخة برفع ضغط المحلول من الضغط المنخفض إلى الضغط المرتفع.

بتسخين المحلول في المولد عن طريق الحرارة الشمسية يبدأ بخار مائع التبريد في الانفصال عن المحلول متجهاً نحو المكثف فيتم تكثيفه حيث تتطلب عملية التكثيف تبريداً من الوسط الخارجي ثم يتم تخفيض ضغطه من الضغط العالي (ضغط المكثف) إلى الضغط المنخفض (ضغط المبخر) بتمريره عبر صمام التمدد. يتم الحصول على حمل التبريد في المبخر نتيجة تبريد مادة التبريد.

أما في الجزء الثاني من الدارة فيسمى المحلول العائد من المولد باتجاه الماص بالمحلول الفقير (يحتوي على نسبة قليلة من مادة التبريد) نظراً لانفصال مادة التبريد عنه في المولد. يتم تخفيض ضغط المحلول الفقير خلال صمام تمدد ثم يقوم هذا المحلول الفقير بامتصاص بخار مادة التبريد القادمة من المبخر متحولاً إلى محلول غني (يحتوي على نسبة كبيرة من مادة التبريد) وينتج عن عملية الامتصاص حرارة لذلك يتطلب الماص تبريداً من الوسط الخارجي. يتضح مما سبق أن تشغيل دارة التبريد الامتصاصية يحتاج إلى حرارة تضاف للمولد وعمل للمضخة بدلاً من العمل اللازم للضاغط في حالة استعمال دارة التبريد الانضغاطية، إن قيمة عمل المضخة صغير جداً بالمقارنة بكمية الحرارة المضافة في المولد نظراً لأن العمل المطلوب لرفع ضغط السوائل (باعتبارها غير قابلة للانضغاط) أقل بكثير من العمل اللازم لرفع ضغط الأبخرة أو الغازات بين نفس القيمتين للضغط [19].

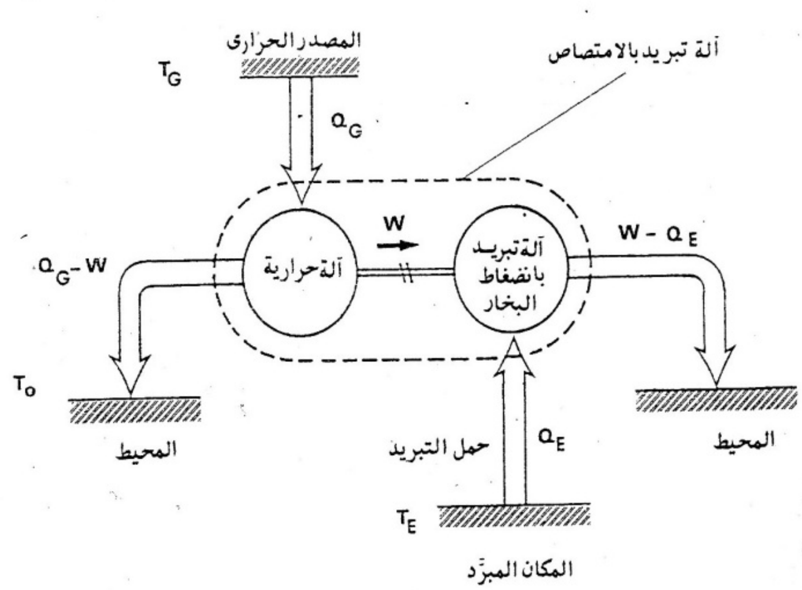
٣.٢. عامل إحداث البرودة cop:

يعرف معامل الأداء لدارة التبريد الامتصاصية بأنه النسبة بين معدل الحرارة المسحوبة بالمبخر (أي حمل التبريد Q_E) ومعدل الحرارة المضافة إلى المولد Q_G أي:

$$COP = \frac{Q_E}{Q_G} \qquad (1)$$

٤.٢. عامل إحداث البرودة المثالي Cop_{ideal}:

يمكن استنتاج العلاقة التي تعطي أقصى معامل أداء ممكن لدارة التبريد الامتصاصية بإستبدال الدارة السابقة بدارتين إحداهما لتوليد الطاقة (دارة مباشرة تدور مع عقارب الساعة) والأخرى للتبريد (دارة تدور عكس عقارب الساعة) كما هو موضح في الشكل (٣.٢).



الشكل(٣.٢): تحليل الدارة الامتصاصية إلى دارتين: دارة توليد الطاقة ودارة التبريد الانضغاطية

ويمكن كتابة المعادلة (١) بالشكل التالي:

$$Cop = \frac{Q_E}{W} \times \frac{W}{Q_G} \quad (2)$$

$$Cop = COP_{vc} \cdot \square_{th} \quad (3)$$

حيث: cop_{vc} هي عامل إحداث البرودة لدارة التبريد الانضغاطية.

$□_{Th}$ المردود الحراري لدارة توليد الطاقة.

ولحساب العلاقة التي تعطي أقصى معامل أداء ممكن لدارة التبريد الامتصاصية تصبح المعادلة (3) كما يلي:

$$Cop_{ideal} = Cop_{RC} \,.\, □_{c} \qquad (4)$$

حيث:

Cop_{RC}: عامل إحداث البرودة لدارة كارنو العكسية للتبريد.

$□_{Th}$: مردود كارنو لدارة المحرك الحراري.

وبالتالي فإن المعادلة (4) تصبح:

$$Cop_{ideal} = \frac{T_E}{T_C - T_E} \cdot \frac{T_G - T_A}{T_G} \qquad (5)$$

$$Cop_{ideal} = \frac{T_E}{T_G} \cdot \frac{T_G - T_A}{T_C - T_E} \qquad (6)$$

حيث :

T_E : درجة الحرارة في المبخر (K).

T_G : درجة الحرارة في المولد (K).

T_C : درجة الحرارة في المكثف (K) .

T_A : درجة الحرارة في الماص (K).

الشروط الواجب توفرها في المحلول الثنائي:

كما بينا سابقاً تستخدم دارة التبريد الامتصاصية محلولاً ثنائياً من مادتين إحداهما تعمل كمادة تبريد بعد فصلها في الصورة البخارية من المزيج داخل المولد والأخرى كمادة ماصة لبخار مادة التبريد العائد من المبخر.

يفترض أن تكون مواد التبريد رخيصة الثمن وأن تكون حرارتها الكامنة للتبخير عالية وأن تكون قابلة للامتصاص عند درجات حرارة تبريد منخفضة نسبياً من (20−40 °C) في المادة الماصة وتكون قابلة للانفصال بشكل جزئي عن المحلول عند درجات حرارة التوليد بدءاً من(60 °C)، وبالإضافة إلى ذلك يجب أن يحقق المحلول من كلا المادتين المتطلبات الآتية [19]:

- استقرار حراري وكيميائي لفترات طويلة من التشغيل.
- لزوجة منخفضة عند ظروف التشغيل.
- غير انفجاري وانعدام أو انخفاض القدرة على التآكل.
- غير سام وضار صحياً.
- انخفاض درجة حرارة تجمده عن أقل درجة حرارة الدارة.
- انخفاض الحرارة النوعية.

كما يجب أن تكون درجة حرارة تبخير المادة الماصة مرتفعة مقارنة مع درجة حرارة تبخير مادة التبريد لكي تسهل عملية الفصل في المولد.

يوضح الجدول (١.٢) بعض المحاليل الثنائية المستخدمة في آلات التبريد الامتصاصية التي تحقق عدداً كبيراً من الخواص السابقة.

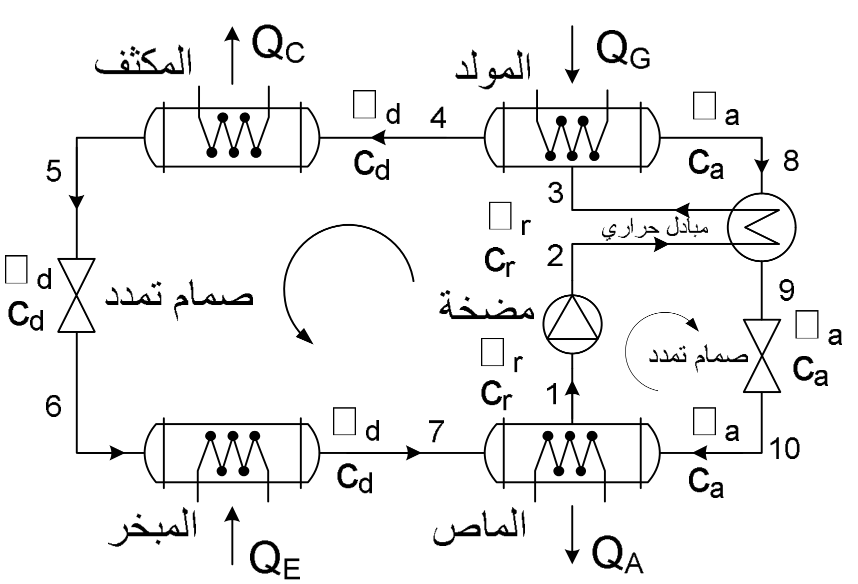
إلا أنه عملياً تنحصر استخدامات دارات التبريد الامتصاصية في استخدام محلول الماء وبروميد الليثيوم ومحلول الأمونيا والماء.

جدول (١.٢): بعض المحاليل الثنائية المستخدمة أو التي استخدمت في آلات التبريد الامتصاصية.

مادة التبريد	مادة الامتصاص	الرمز الكيمائي
ماء	بروميد الليثيوم	H2O –LiBr
أمونيا	ماء	NH3 –H2O
أمونيا	نترات الليثيوم	NH3 –LiNO3
أمونيا	كلوريد الليثيوم	NH3 –Cacl2
أمونيا	ثيوسينات الليثيوم	NH3 –NascN

٥.٢. دارة التبريد الامتصاصية باستخدام المحلول (H_2O – LiBr):

تعمل آلة التبريد الامتصاصية (H_2O – LiBr) تبعاً للدارة الموضحة قي الشكل (٤.٢):



الشكل (٤.٢): مخطط توضيحي لدارة تبريد امتصاصية باستخدام المحلول (H_2O – LiBr) وبوجود مبادل حراري مسترجع

من الملاحظ في هذه الدارة أن تركيز المحلول الثنائي C (وهو نسبة مادة تبريد في المزيج) قد يتغير بين الصفر (بدون مادة تبريد في المحلول الثنائي) والواحد (مادة تبريد صافية).

على سبيل المثال في المحلول (H_2O – LiBr):

$C=0 \Rightarrow$ 100% بروميد الليثيوم
0% ماء

$C=1 \Rightarrow$ 0% بروميد الليثيوم
100% ماء

بروميد الليثيوم $C=0.4 \Rightarrow 60\%$

ماء 40%

في آلة التبريد الامتصاصية يتم العمل عند التراكيز والكميات التالية مع المواصفات التالية:

C_r : تركيز المحلول الغني (يضخ من الماص إلى المولد، النقاط 1،2،3).

C_a: تركيز المحلول الضعيف (يعود من المولد إلى الماص، النقاط 8،9،10).

C_d: تركيز بخار مادة التبريد (الخارجة من المولد باتجاه المكثف، النقاط 4،5،6،7).

$\Delta C = C_r - C_a$: فرق التركيز بين المحلولين الغني والفقير (ويسمى: عرض مجال التبخر).

$m_a\ [\frac{Kg}{s}]$: التدفق الكتلي للمحلول الفقير.

$m_r\ [\frac{Kg}{s}]$: تدفق وسيط التبريد.

ملاحظة:

عند استخدام المحلول الثنائي (ماء ،بروميد الليثيوم) كوسيط عمل في آلة تبريد امتصاصية فإن تركيز بخار مادة التبريد C_d الخارجة من المولد باتجاه المكثف تعتبر مساوية للواحد تقريباً $C_d \cong 1$ أي أن بخار الماء لا يحوي أي قطرات من بروميد الليثيوم.

٦.٢. الكمية النوعية لدوران المحلول الثنائي (معامل التدوير) f:

يعرف بأنه نسبة تدفق المحلول الغني الواجب تدويره من الماص إلى المولد عبر المضخة إلى تدفق وسيط التبريد المعطى، أي:

$$f = \frac{\dot{m_r}}{\dot{m_d}} \qquad (7)$$

بتطبيق مبدأ التوازن الكتلي في المولد حسب الشكل (٤.٢) نجد:

توازن كتلة المحلول الثنائي الإجمالي يعطى:

$$\square_r = \square_a + \square_d \qquad (8)$$

توازن كتلة التبريد يعطى:

$$\square_r . C_r = \square_a . C_a + \square_d . C_d \qquad (9)$$

بتقسيم العلاقة (9) على $\square_d$ نجد:

$$\frac{r}{d} C_r = \frac{\dot{m_a}}{\dot{m_d}} C_a + \frac{\dot{m_d}}{\dot{m_d}} C_d \qquad (10)$$

وبأخذ العلاقتين (8،7) بعين الاعتبار تكتب المعادلة (10) بالشكل:

$$f\, C_r = (f-1)\, .C_a + C_d \qquad (11)$$

ومنه فإن علاقة معامل التدوير :

$$f = \frac{C\,d - C\,a}{C\,r - Ca} = \frac{C\,d - Ca}{\Delta\, C} \qquad (12)$$

وهذه النسبة يتم ضخها من الماص إلى المولد.

٧.٢. معادلات توازن الكتل والطاقة لآلة التبريد الامتصاصية:

إن حساب آلة التبريد الامتصاصية ذات المرحلة الواحدة يمكن أن يتم بأخذ التوازن الطاقوي والكتلي لكل عنصر من عناصر الدارة الأساسية (المولد، الماص، المبخر، المكثف، المضخة، المبادل الحراري) المبينة في الشكل (٤.٢) كما يلي:

- **الماص**

بتطبيق التوازن الحراري على الماص نجد :

$$\dot{Q}_A + \dot{m}_d . h_1 = \square_d . h_7 + \square_a . h_{10} \qquad (13)$$

بتطبيق التوازن الكتلي على الماص نجد:

$$\square_d + \square_a = \square_r \qquad (14)$$

بتعويض العلاقة (14) في العلاقة (13) نجد أن معدل كمية الحرارة المطروحة من الماص هي:

$$\dot{Q}_A = \square_d . h_7 + (\square_r - \square_d) . h_{10} - \square_r . h_1 \qquad (15)$$

بتقسيم العلاقة (15) على m_d نحصل على كمية الحرارة النوعية المطروحة من الماص:

$$q_A = \frac{\dot{Q}_A}{\dot{m}_d} = h_7 + \left(\frac{\dot{m}_r}{\dot{m}_d} - 1 \right) h_{10} - \frac{\dot{m}_r}{\dot{m}_d} . h_1 \qquad (16)$$

وبأخذ العلاقة (7) بعين الاعتبار نجد:

$$q_A = h_7 + (f - 1) . h_{10} - f . h_1 \qquad (17)$$

ومنه فإن:

$$q_A = (h_7 - h_{10}) + f . (h_{10} - h_1) \qquad (18)$$

- **المولد:**

بتطبيق التوازن الحراري على المولد نجد:

$$\dot{Q}_G + \square_r . h_3 = \square_d . h_4 + \square_a . h_8 \qquad (19)$$

أما التوازن الكتلي على المولد فيعطي :

$$\square_d + \square_a = \square_r \tag{20}$$

ومنه فإن التدفق الحراري المقدم للمولد (الاستطاعة اللازمة في المولد) هي:

$$\dot{Q_G} = \square_d .h_4 + (\square_r - \square_d) .h_8 - \square_r .h_3 \tag{21}$$

بتقسيم العلاقة (21) على $\square_d$ نحصل على كمية الحرارة النوعية المقدمة للمولد:

$$q_G = \frac{\dot{Q_G}}{\dot{m_d}} = h_4 + \left(\frac{\dot{m_r}}{\dot{m_d}} - 1 \right) . h_8 - \frac{\dot{m_r}}{\dot{m_d}} . h_3 \tag{22}$$

ومنه فإن:

$$q_G = (h_4 - h_8) + f . (h_8 - h_3) \tag{23}$$

- **المكثف**

بتطبيق مبدأ التوازن الحراري على المكثف نجد:

$$\dot{Q_c} + \square_d .h_5 = \square_d .h_4 \tag{24}$$

ومنه فإن معدل كمية الحرارة المطروحة من المكثف هي:

$$\dot{Q_c} = \square_d (h_4 - h_5) \tag{25}$$

وبالتقسيم على m_d نحصل على كمية الحرارة النوعية المطروحة في المكثف:

$$q_c = h_4 - h_5 \tag{26}$$

- **المبخر**

بتطبيق مبدأ التوازن الحراري على المبخر نجد:

$$\dot{Q_E} + m_d .h_6 = m_d . h_7 \tag{27}$$

ومنه فإن كمية الحرارة المقدمة للمبخر من المكان المراد تبريده (استطاعة التبريد) هي:

$$\dot{Q}_{E.} = \Box_d \cdot (h_7 - h_6) \quad (28)$$

وبالتقسيم على m_d نحصل على حمل التبريد النوعي:

$$q_E = h_7 - h_6 \quad (29)$$

- **المضخة**

من الشكل (2−4) نجد أن الاستطاعة الواجب تقديمها للمضخة هي:

$$\Box_P = \Box_r (h_2 - h_1) \quad (30)$$

كما يمكن كتابة علاقة استطاعة المضخة بدلالة الضغوط كما يلي :

$$\Box_p = \Box_r \cdot 1/\rho \, (Pc - P\,E) \quad (31)$$

حيث:

$\rho[\frac{Kg}{m3}]$: الكتلة النوعية للمحلول الغني الذي تضخه المضخة.

P_E, P_C [P a]: ضغط كل من المكثف والمبخر على الترتيب.

- **المبادل الحراري**

للمبادل الحراري هنا فائدة أساسية في الدارة يقوم بتبريد المحلول الفقير وتسخين المحلول الغني وهذا ما يؤدي إلى تقليل الاستطاعة الحرارية الواجب تغذيتها إلى المولد من المنبع الحراري وبالتالي إلى رفع قيمة عامل إحداث البرودة (معامل أداء آلة التبريد الامتصاصية) COP.

بتطبيق مبدأ التوازن الحراري في المبادل الحراري (الشكل 2−4) نجد:

معدل كمية الحرارة التي يكتسبها المحلول الغني تساوي معدل كمية الحرارة التي يخسرها المحلول الفقير.

$$\dot{Q}_{HE} = \square_r .(h_3-h_2) = \square_a (h_8-h_9) \qquad (32)$$

وبالتقسيم على $\square_d$ نحصل على كمية الحرارة النوعية المتبادلة في المبادل الحراري:

$$q_{HE} = f.(h_3-h_2) = (f-1)(h_8-h_9) \qquad (33)$$

للتأكد من صحة الحسابات السابقة تكتب معادلة الاستطاعة لآلة التبريد الامتصاصية اعتماداً على الشكل (4.2) كما يلي:

$$\dot{Q}_E + \dot{Q}_G + \dot{W}_P = \dot{Q}_A + \dot{Q}_C \qquad (34)$$

وباعتبار أن قيمة استطاعة المضخة $\dot{W}_P$ صغيرة جداً ويمكن إهمالها بالمقارنة مع الاستطاعات الأخرى وبالتالي تصبح معادلة توازن الاستطاعة بالشكل:

$$\dot{Q}_E + \dot{Q}_G = \dot{Q}_A + \dot{Q}_C \qquad (35)$$

أما معادلة توازن كميات الحرارة النوعية فهي:

$$q_E + q_G = q_A + q_C \qquad (36)$$

٨.٢. عامل إحداث البرودة (عامل الأداء) COP:

كما مر سابقاً فإن عامل أداء آلة التبريد الامتصاصية هو النسبة بين استطاعة التبريد إلى الاستطاعة الحرارية المقدمة للآلة:

$$COP = \frac{\dot{Q_E}}{\dot{Q_G}+W P} \cong \frac{\dot{Q_E}}{\dot{Q_G}} = \frac{q E}{q G} \qquad (37)$$

٢.٩. عامل الأداء الأعظمي COP_{max}:

ويعطى كما مر سابقاً بالعلاقة:

$$COP_{max}= \frac{TE}{T C-T E} \cdot \frac{T G-TA}{T G} \qquad (38)$$

وباعتبار أن تبريد المكثف والماص يتم عن طريق وسيط تبريد عند درجة حرارة الوسط الخارجي T_O فإن $T_C = T_A = T_O$ وبالتالي :

$$COP_{max} = \frac{TE}{T O-T E} \cdot \frac{T G-TO}{T G} \qquad (39)$$

٢.١٠. مردود الدارة □:

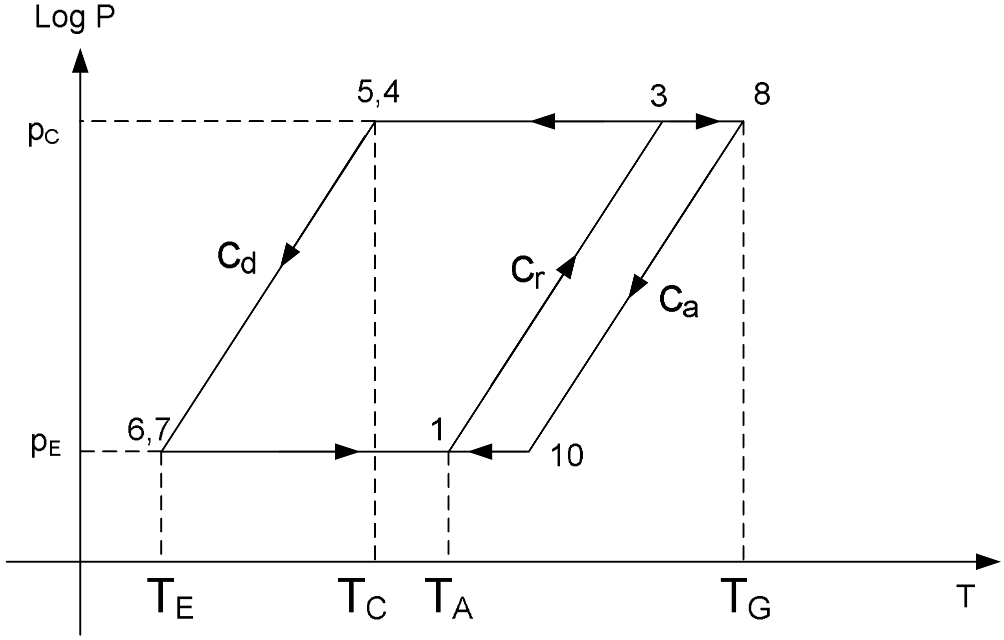
يعرف بأنه النسبة بين معامل أداء الدارة COP ومعامل الأداء الأعظمي COP_{max}

أي:

$$\square = \frac{COP}{COP_{max}} \qquad (40)$$

١١.٢. مخطط الضغط ودرجة الحرارة لآلة التبريد الامتصاصية:

يعرض هذا المخطط العلاقة بين $\log P$ و $\frac{1}{T}$ عند قيم تركيز مختلفة وهذه العلاقة تكون في الحالة المثالية كخطوط مستقيمة (الشكل ٥.٢).



الشكل (٥.٢): مخطط $\log P$ و $\frac{1}{T}$ لآلة التبريد الامتصاصية وحيدة الطور.

تعمل الدارة في هذا المخطط على النحو التالي:

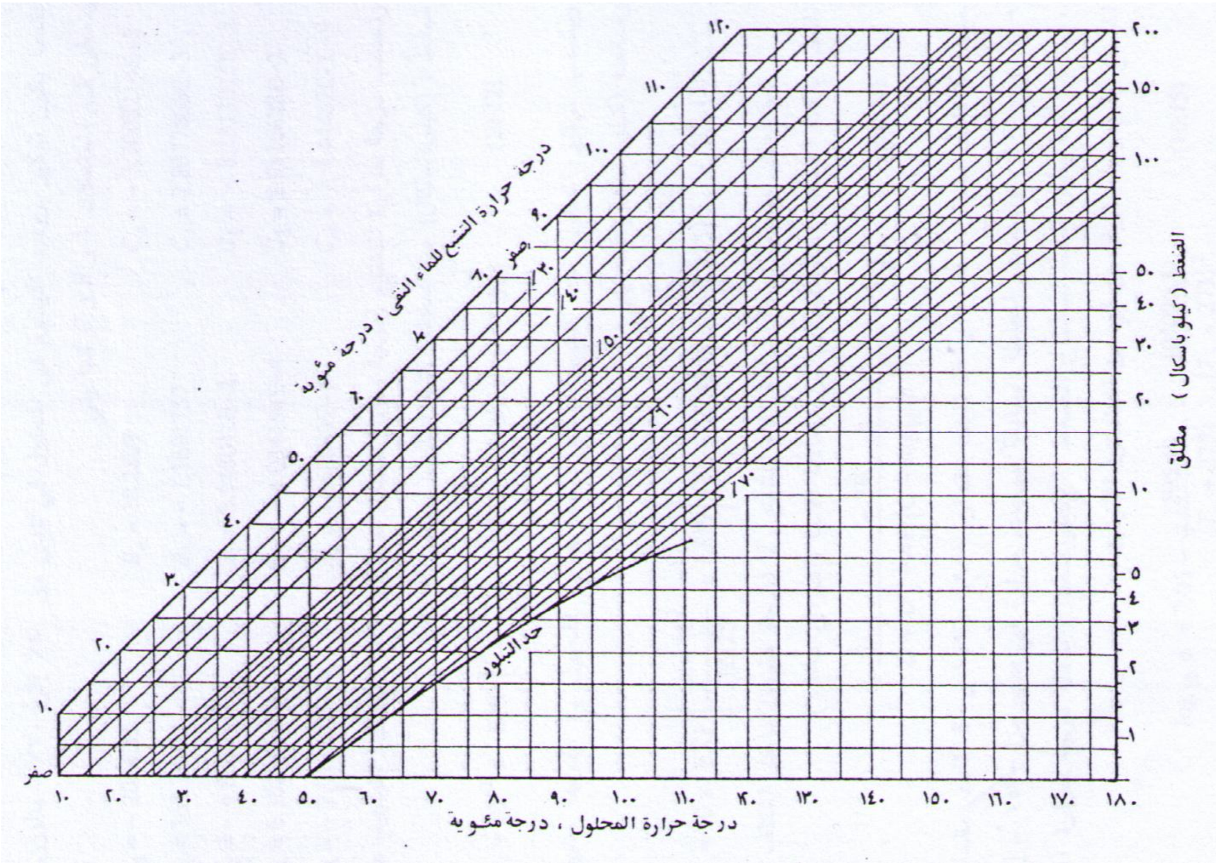
يتحول المحلول الثنائي من التركيز C_a إلى التركز C_r في الماص عبر امتصاص مادة التبريد المتدفقة من المبخر وهذه العملية تتم عند الضغط P_E، إذ تنخفض درجة الحرارة في الماص من القيمة T_{10} إلى القيمة T_1.

إن المحلول الغني الناتج في النقطة 1 ذو التركيز C_r يتم ضخه عبر المضخة من النقطة 1 ثم يخرج من المبادل الحراري في النقطة ٣ حيث يزداد ضغطه من P_E إلى P_c.

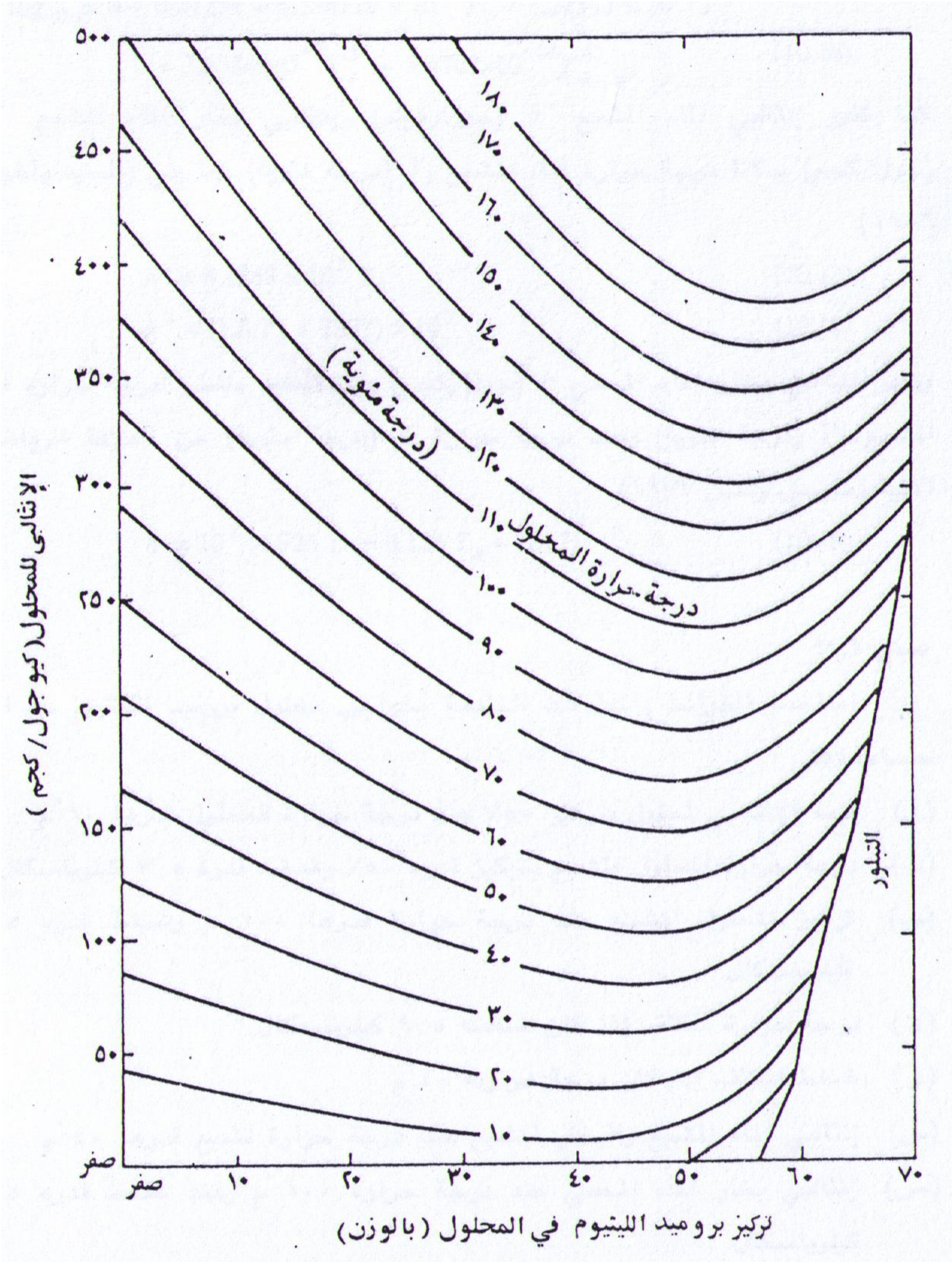
وعبر تزويد المولد بالاستطاعة الحرارية Q_H عند ضغط التكثيف P_c يتم توليد بخار مادة التبريد من المحلول الثنائي وفي نهاية العملية يغادر المحلول الفقير ذو التركيز C_a المولد عند درجة الحرارة الأعظمية في الدارة $T_G = T_8$ متجهاً نحو النقطة 10 بعد مروره في المبادل الحراري وتخفيض ضغطه عبر صمام التمدد.

من جهة أخرى يسري بخار مادة التبريد الناتج من المولد إلى المكثف عند الضغط P_c (من النقطة 3 إلى النقطة 4) وعند ذلك يتكاثف البخار على درجة حرارة ثابتة $T_c= T_4= T_5$ ثم يتمدد في صمام التمدد من النقطة 5 التي توافق الضغط الأعظمي إلى النقطة 6 التي توافق الضغط الأصغري وفي المبخر يتم امتصاص الحرارة من المكان المراد تبريده عند ضغط المبخر P_E فيتم تبخير سائل مادة التبريد عند درجة حرارة ثابتة $T_E = T_6 =T_7$، وبعدها يتم امتصاص هذا البخار وفقاً للعملية ($7 \longleftarrow 1$) من قبل المحلول الفقير ذو درجة الحرارة T_{10} .

يبين الشكل (٢-٦) مخطط ($\log P$ و $\frac{1}{T}$) لمحلول (H_2O, LiBr) ،كما يبين الشكل (٢-٧) العلاقة بين انتالبي المحلول وتركيز بروميد الليثيوم عند درجات حرارة مختلفة [19] .



الشكل (٦.٢): مخطط ($\log P$ و $\frac{1}{T}$) لمحلول (H_2O, LiBr)



الشكل (٧.٢): العلاقة بين انتالبي المحلول (H_2O, LiBr) وتركيز بروميد الليثيوم عند درجات حرارة مختلفة.

يمكن حساب الانتالبي $h[\frac{KJ}{Kg}]$ للمحلول (H_2O, LiBr) بدلالة تركيز بروميد الليثيوم % X في المحلول ودرجة حرارة المحلول [°C] T من العلاقة:

$$h = \sum_0^4 A_{n.}x^n + T.\ \sum_0^4 B_{n.}x^n + T^2\ .\sum_0^4 C_{n.}x^n \qquad (41)$$

إن مجال استخدام العلاقة 41 هو:

$$165\ ℃ \geq T \geq 15\ ℃$$
$$40\ \% \leq X \leq 70\ \%$$

أما قيم A, B ,C فهي معطاة بالجدول 2-2:

الجدول (٢.٢): الثوابت A, B ,C لحساب انتالبي المحلول (H_2O, LiBr) .

A_0=−024.33	B_0=18.2829	C_0=−3,7008.E−2
A_1=163.309	B_1=−1.1691757	C_1=2.887766.E−3
A_2=−4.88161	B_2=3.248.E−2	C_2=−8.1313E−5
A_3=6.303.E−2	B_3=−4.034.E−4	C_3=9.9117.E−7
A_4=−2.9.E−4	B_4=1.852.E−6	C_4=−4.444.E−9

وتحسب درجة حرارة الإشباع للمحلول T_S [°C] عند تركيز X من بروميد الليثيوم عند ضغط P[kPa] من العلاقة الآتية:

$$T_S=10^{-3}\ x^3\ EXP\left(\frac{P\times10^3}{32125}-1{,}819\right)+16{,}42.\ln P+7{,}525 \qquad (42)$$

كما يحسب تركيز المحلول عند الإشباع بدلالة درجة حرارة المحلول T_S [°C] وضغطه P [kPa] من العلاقة:

$$X=10\ [EXP\left(\frac{-P\times10^3}{32125}+1{,}819\right)(T_S-16{,}42\ LnP-7{,}525]^{1/3} \qquad (43)$$

كما يمكن حساب درجة حرارة الماء المشبع T_S [°C] داخل المكثف أو المبخر بدلالة الضغط P [kPa] من المعادلة:

$$T_S=\frac{-2E}{D+[D^2-4E(C-\log_{10}P)]^{1/2}}-273 \qquad (44)$$

حيث:

C= 7,05 D= −1595,49 E=−104095,5

إن مجال استخدام المعادلة (44) هو $-15\ ^\circ C \le T_S \le 110\ ^\circ C$

كما يمكن ايجاد الضغط P [kPa] بدلالة درجة حرارة الماء المشبع T_S [°C] من إحدى المعادلتين التاليتين:

$$\log_{10}P=7{,}05-\frac{1596{,}49}{(T_{S+273})}-\frac{104095{,}5}{(T_{S+273})^2} \qquad (45)$$

$$\log_{10}P=0{,}21254+3{,}136119\times10^{-2}.T_S-1{,}22512\times10^{-4}.T_S^2+3{,}6384\ .10^{-7}T_S^3-5{,}67.10^{-10}.T_S^4 \qquad (46)$$

كما يحسب انتالبي الماء المشبع $h' \left[\frac{KJ}{Kg}\right]$ وانتالبي بخار الماء المشبع $h'' \left[\frac{KJ}{Kg}\right]$ بدلالة درجة حرارة الماء المشبع T_S [℃] من العلاقات:

$$h' = 4{,}1868 \times 10^3 \; T_S \qquad (47)$$

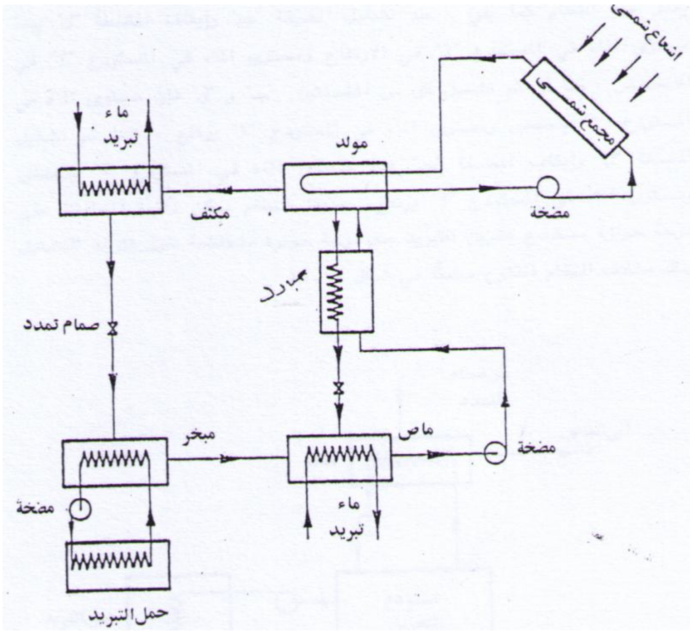
$$h'' = (1{,}8 \; T_s + 2397) \, . \, 10^3 \qquad (48)$$

أما انتالبي بخار الماء المحمص $h\left[\frac{KJ}{Kg}\right]$ فيحسب عند ضغط مناظر لدرجة حرارة الماء المشبع T_S [℃] وعند درجة حرارة تحميص T [℃] من العلاقة الآتية:

$$h = 10^3 \; (1{,}926 \; T - 0{,}126 \; T_S + 2397) \qquad (49)$$

١٢.٢. نظم التشغيل الشمسي لدورة التبريد بالامتصاص:

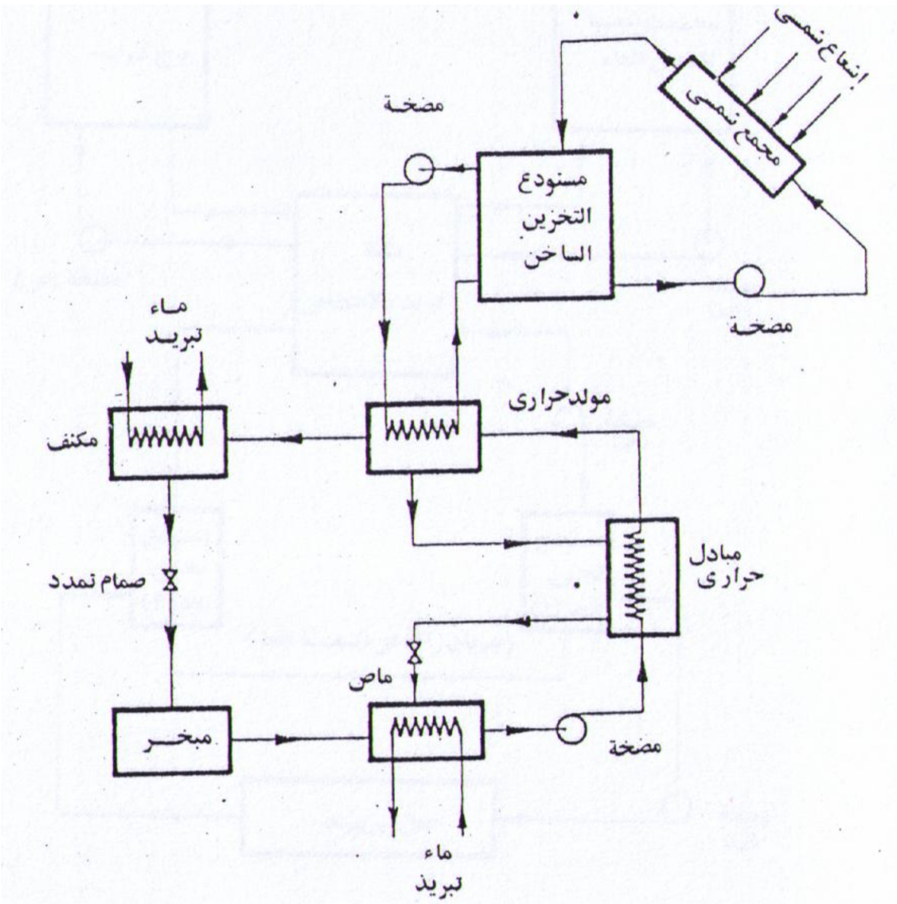
هناك العديد من نظم التبريد بالامتصاص التي تعمل بالطاقة الشمسية [19]، وتختلف هذه النظم فيما بينها تبعاً للمواصفات المطلوبة في كل تطبيق على حدا، وأهم مكونات هذه النظم هي المجمعات الشمسية وآلة التبريد الامتصاصية، أما باقي المكونات فتختلف بالعادة من نظام لآخر، ويوضح الشكل (٨.٢) نظام مبسط للتشغيل الشمسي لدارة التبريد الامتصاصية، وتستخدم المجمعات الشمسية للحصول على المصدر الحراري اللازم لتشغيل تلك الدارة، وهناك عدة محاولات لاستخدام أنواع مختلفة من الموائع لنقل الحرارة من المجمع الشمسي إلى المولد، ويعتبر الماء من أفضل الموائع لهذا الغرض نظراً لرخص ثمنه ولارتفاع حرارته النوعية. ولتقليل الضياعات الحرارية في أنابيب التوصيل بين المجمع الشمسي والمولد اقترح بعض الباحثين دمج المجمع الشمسي والمولد معاً في مكون واحد.



الشكل (٨.٢): مخطط توضيحي لنظام بسيط لدارة تبريد امتصاصية تعمل بالطاقة الشمسية

ومن الواضح أن الشكل (٨.٢) غير مناسب للاستخدام المستمر (غير المتقطع) لفترات طويلة نظراً لاعتماده في العمل على وجود مصدر كافي من الإشعاع الشمسي. وبالطبع هذا غير ممكن ليلاً وفي الأيام التي تتزايد بها السحب في السماء وللتغلب على هذه المشكلة اقترح استخدام مستودع للتخزين الحراري أي لتخزين الطاقة الحرارية عند درجة حرارة مرتفعة نسبياً.

ويوضح الشكل (٩.٢) مثل هذا النظام حيث يتم تخزين الماء الساخن القادم من المجمعات الشمسية في مستودع لاستخدامه فيما بعد لتسخين المولد لفترات أطول من تلك التي يتوفر فيها الإشعاع الشمسي. وعليه تحدد مساحة المجمعات الشمسية المستخدمة والخزان الحراري بدلالة مقدار الإشعاع الشمسي المتاح يومياً، واستطاعة آلة التبريد الامتصاصية، وعدد ساعات عمل الآلة.



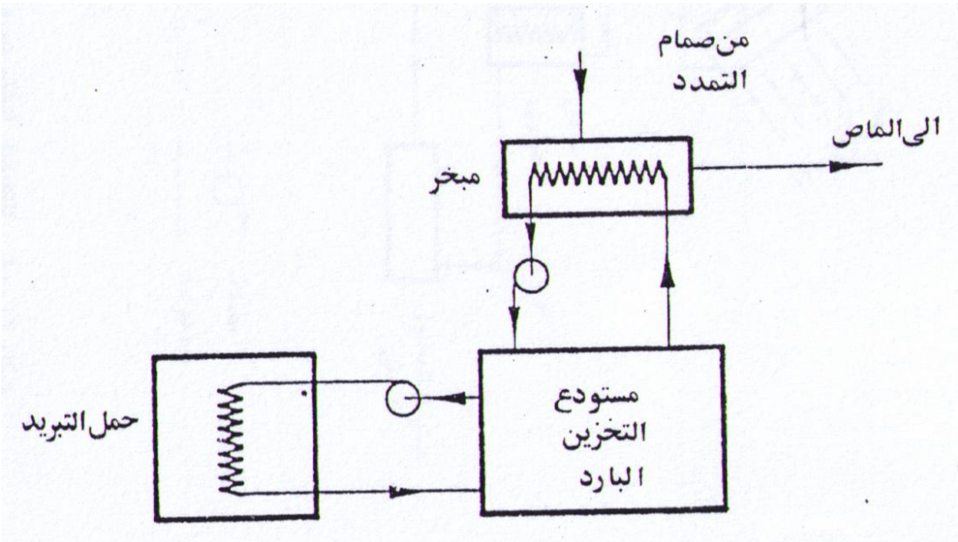
الشكل (٩.٢): التشغيل الشمسي لنظام تبريد بالامتصاص يحوي مستودع للتخزين الحراري

وبالطبع هناك احتمال آخر للتخزين الحراري وهو استخدام مستودع التخزين البارد بدلاً من مستودع التخزين الساخن [19]. وتمتاز هذه الطريقة أيضاً بإمكانية الحصول على سعة تبريد في الأوقات التي لا يتوفر فيها الإشعاع الشمسي. عندئذ تعمل آلة التبريد – باستطاعة تبريد أكبر من استطاعة التبريد المطلوبة – في أوقات توفر الإشعاع الشمسي فقط، ويتم تخزين فائض التبريد في مستودع التخزين البارد.

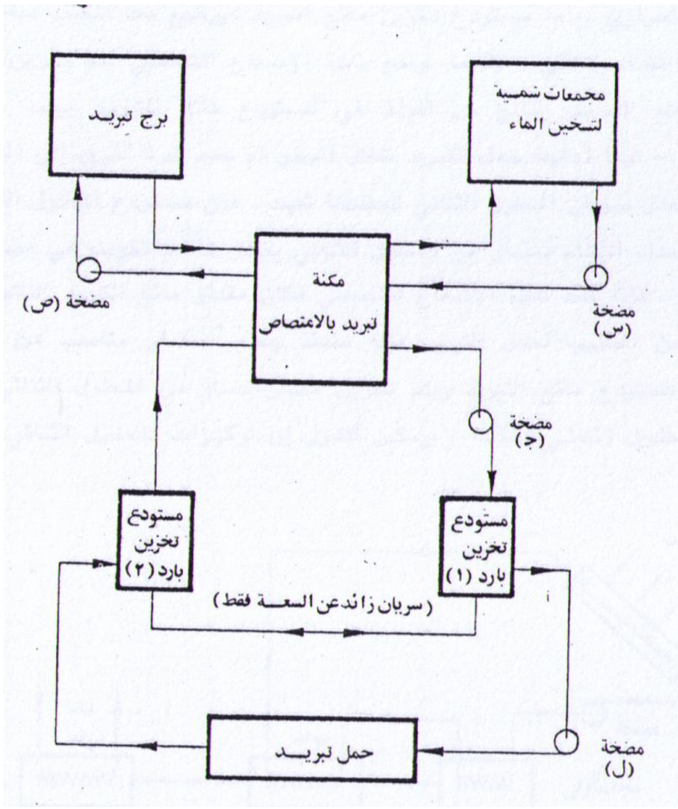
يمتاز نظام التخزين البارد عن نظام التخزين الساخن بتحسين أداء آلة التبريد التي تعمل عندئذ باستمرار بدلاً من العمل بتقطع تبعاً لاحتياج حمل التبريد.

كما يساعد نظام التخزين البارد على استخدام آلة بسعة تبريد أقل نسبياً من تلك المستخدمة في الحالة الأولى حيث يعمل مستودع التخزين على تعويض الفرق في حالة وجود حمل التبريد عند الذروة، وهناك عدة بدائل للتخزين البارد، وأبسط هذه البدائل هو استخدام مستودع لتخزين وسيط تبريد تم تبريده بآلة التبريد، كما هو موضح في الشكل(١٠.٢) وكبديل آخر، يوضح الشكل (١١.٢) نظام يستخدم مستودعين متماثلين لتخزين ماء تم تبريده بآلة التبريد. وكما هو موضح بالشكل، يعمل هذا النظام كما يلي:

عند تشغيل المضخة "ج" وإيقاف المضخة "ل" يبدأ مستوى الماء في المستودع "١" في الارتفاع ومستوى الماء في المستودع "٢" في الانخفاض، أما في حال تشغيل كل من المضختين "ج" و "ل" فإن مستوى الماء في المستودع "١" ينخفض ومستوى الماء في المستودع "٢" يرتفع. فإذا تم تشغيل المضخة "ل" وإيقاف المضخة "ج" فإن مستوى الماء في المستودع "١" ينخفض ومستوى الماء في المستودع "٢" يرتفع، وبهذا النظام يمكن دائماً المحافظة على درجة حرارة مستودع تخزين التبريد عند درجة حرارة منخفضة طول فترات التشغيل وذلك بخلاف النظام المقترح سابقاً في الشكل (١٠.٢).



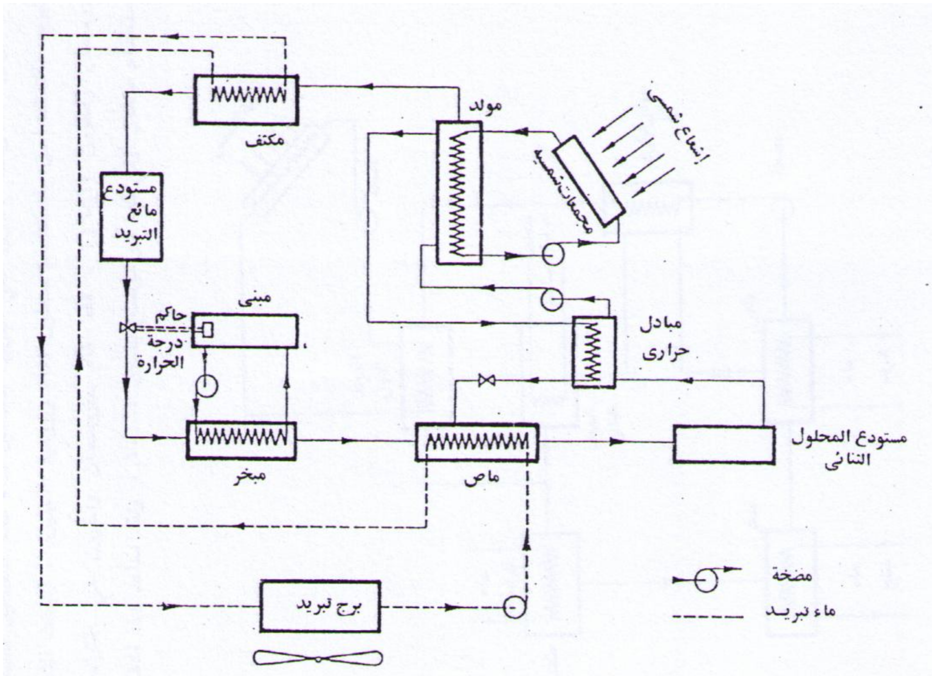
الشكل(١٠.٢): استخدام مستودع التخزين البارد مع التشغيل لدارة التبريد بالامتصاص



الشكل (١١.٢): التشغيل الشمسي لنظام تبريد بالامتصاص يستخدم مستودعين للتخزين البارد

ويوضح الشكل(١٢.٢) نظاماً آخر للتخزين البارد. ففي هذا النظام يستخدم مستودعان أحدهما لتخزين مائع التبريد والآخر لتخزين المحلول الثنائي المستخدم في آلة التبريد بالامتصاص. ويمتاز هذا النظام بالآتي: ارتفاع مقدار الطاقة المخزنة في وحدة الحجم من المستودع بالمقارنة بالنظام الموضح بالشكل (١٠.٢) أو النظام الموضح بالشكل (١١.٢) حيث إن تخزين الطاقة هنا يتم في هيئة طاقة كامنة، أما فيما سبق فكان تخزين الطاقة في هيئة طاقة محسوسة. وكما هو موضح بالشكل يوضع مستودع تخزين المحلول الثنائي عند الخروج من الوعاء الماص وقبل الدخول إلى المبادل الحراري، أما مستودع تخزين مائع التبريد فيوضع بعد المكثف مباشرة ويعمل هذا النظام كالآتي: عندما ترتفع شدة الإشعاع الشمسي يتم تخزين جزء كبير من مائع التبريد الناتج من المولد في مستودع مائع التبريد

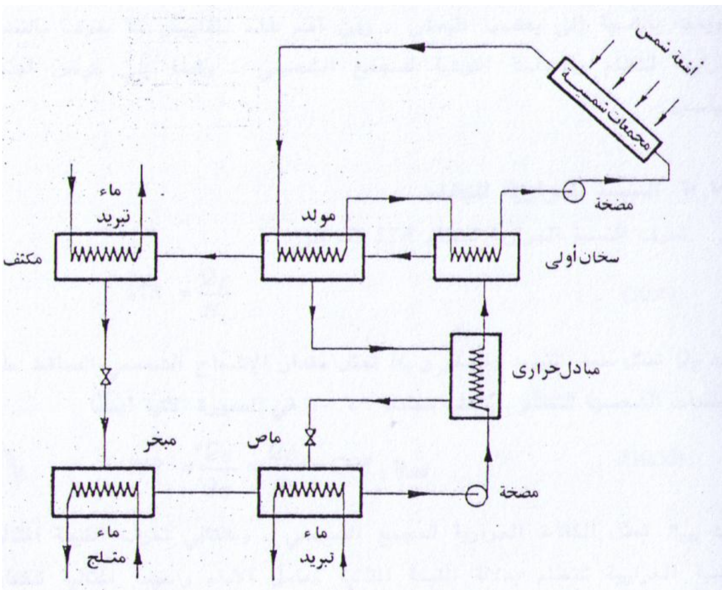
بينما يدور الجزء الباقي – تبعاً لحاجة حمل التبريد – خلال المبخر ثم يعود مرة أخرى إلى الماص. ونظراً لأن معدل سريان المحلول الثنائي للمضخة ثابت، فإن مستودع المحلول الثنائي يقوم الآن بإمداد النظام بمقدار من المحلول الثنائي يعادل ما تم تخزينه في مستودع مائع التبريد. فإذا قلت شدة الإشعاع الشمسي فكان مقدار مائع التبريد الناتج من المولد أقل من المطلوب لحمل التبريد فإنه عندئذ يسحب مقدار مناسب من مائع التبريد من مستودع مائع التبريد ويتم تخزين مقدار متساو من المحلول الثنائي في مستودع المحلول الثنائي وهكذا، ويمكن القول إن تركيزات المحلول الثنائي عند الخروج من الماص، وفي مستودع المحلول الثنائي، وإلى ومن المولد تتغير بتغير شدة الإشعاع الشمسي و/ أو حمل التبريد.



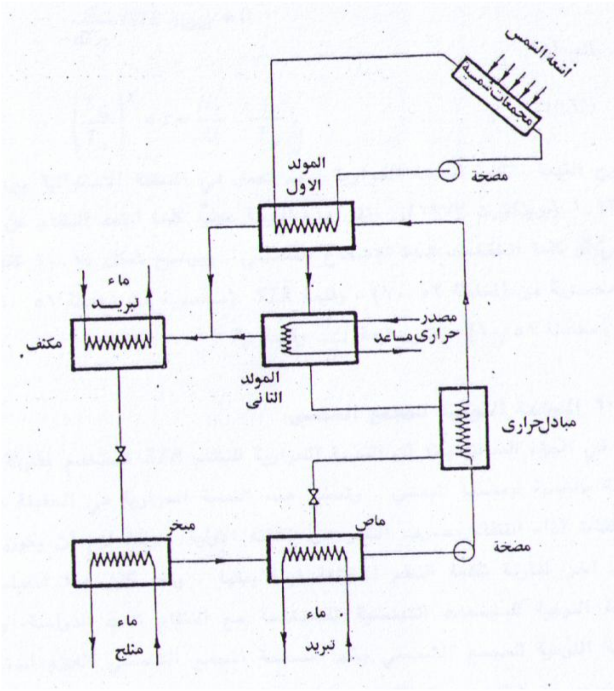
الشكل (12.2): التشغيل لنظام تبريد بالامتصاص يحوي مستودع لمائع التبريد وآخر للمحلول الثنائي

من المحاولات الأخرى التي أجريت لتحسين أداء نظم التشغيل الشمسي لآلة التبريد بالامتصاص باستخدام محلول الماء وبروميد الليثيوم هو استخدام سخان أولي كما هو

موضح بالشكل (١٣.٢) ولقد ساعد هذا الاقتراح على تصغير حجم المولد نسبياً وبالتالي تكلفته، هذا بالإضافة إلى تحسين أداء آلة التبريد بالامتصاص. كما قدم البعض اقتراحهم الثاني باستخدام مولد ثانوي بالإضافة إلى المولد الأصلي كما هو موضح بالشكل (١٤.٢) ويعمل المولد الثانوي بمصدر حراري مساعد من غير الطاقة الشمسية [19]، ويستخدم هذا المولد إذا ضعفت شدة الإشعاع الشمسي مما يساعد آلة التبريد على العمل قرب معدلها المعتاد فيتحسن أداء النظام كلل، ويمكن بالطبع ضم كل من المولدين في غلاف واحد لخفض التكاليف.



الشكل (١٣.٢): التشغيل الشمسي لنظام تبريد بالامتصاص يحوي سخان أولي



الشكل (١٤.٢): التشغيل الشمسي لنظام تبريد بالامتصاص يحوي مولدين حراريين: الأول شمسي، والثاني ذو مصدر حراري مساعد

١٣.٢. تقييم نظم التشغيل الشمسي لدارة التبريد بالامتصاص:

بينّا في الجزء السابق أنه توجد العديد من النظم المقترحة للتشغيل الشمسي لدارة بالتبريد الامتصاص، ولقد كان من المهم وجود مقاييس لمقارنة هذه النظم وتقويهما بالنسبة إلى بعضها البعض، ومن أهم هذه المقاييس ما يعرف بالنسبة الحرارية للنظام والمساحة النوعية للمجمع الشمسي، وفيما يلي عرض لهذين المقياسين [19].

١.١٣.٢. النسبة الحرارية للنظام:

تعرف النسبة الحرارية للنظام STR كما يلي:

$$\text{STR} = \frac{Q_E}{H_S} \qquad (50)$$

حيث Q_E تمثل حمل التبريد بالمبخر و H_S تمثل مقدار الإشعاع الشمسي الساقط على المجمعات الشمسية للنظام ، وتكتب معادلة (٤٤) في الصورة الآتية أيضاً:

$$STR = \frac{Q_E}{Q_G} \times \frac{Q_G}{H_S} = COP._{col} \qquad (51)$$

حيث $_{col}$ تمثل الكفاءة الحرارية للمجمع الشمسي، وبالتالي تعرف القيمة المثالية للنسبة الحرارية للنظام بدلالة القيمة المثالية لمعامل الأداء والقيمة المثالية للكفاءة الحرارية كمايلي:

$$(STR)_{ideal} = \left\{\left(\frac{T_G - T_O}{T_O - T_E}\right)\left(\frac{T_E}{T_G}\right)\right\}\left\{1 - \frac{U}{H_S}(T_G - T_O)\right\} \qquad (52)$$

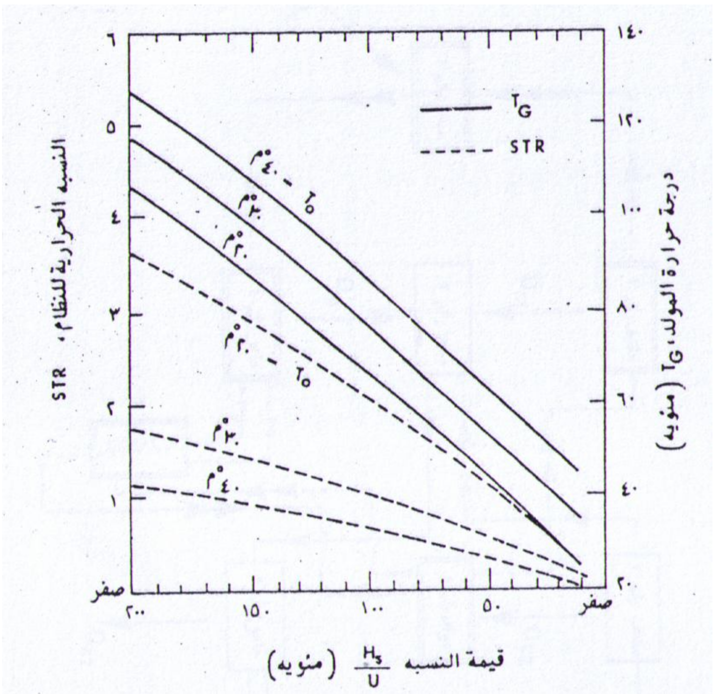
حيث T_O و T_G و T_E هي على التوالي درجات حرارة الجو المحيط والمولد والمبخر و U هي المعامل الكلي لانتقال الحرارة بين المجمع الشمسي والجو المحيط، ولحساب قيمة T_G (الدرجة المثلى للمولد) التي تعطي أعلى قيمة للنسبة الحرارية للنظام فإنه يلزم اشتقاق العلاقة السابقة وتحقيق الشرط الآتي:

$$\frac{d}{dT_G}(STR)_{ideal} = 0$$

ومنها ينتج أن:

$$\left(\frac{T_G}{T_O}\right)^2 = 1 + \frac{H_S}{U} . \frac{1}{T_O} \qquad (53)$$

وتتراوح القيمة المثالية للنسبة الحرارية لنظم تعمل في المنطقة الاستوائية بين ٠,٥٥ إلى ١,٢٣. وتقل هذه القيمة عملياً كلما انخفضت شدة الإشعاع الشمسي. ويوضح شكل (15.2) تغير قيمة T_G (محسوبة من المعادلة 47) وقيمة STR (محسوبة من معادلة ٤٦ لقيمة T_G من معادلة 47)، بتغير قيمة $\frac{H_S}{U}$ وقيمة T_O.



الشكل (١٥.٢): تغير قيمة T_G و قيمة STR مع تغير قيمة $\frac{H_S}{U}$ وقيمة T_o عند (T_E = 10 °C)

٢.١٣.٢. المساحة النوعية للمجمع الشمسي:

في الجزء السابق بينا أن النسبة الحرارية للنظام STR تستخدم لمقارنة النظم المختلفة بالنسبة لبعضها البعض، وتعطي هذه النسبة الحرارية في الحقيقة مقياس لمدى كفاءة أداء النظام بغض النظر عن تكلفته الأولية، ولذا لزم أن يكون هناك مقياس آخر لمقارنة تكلفة النظم المختلفة فيما بينها، ولقد كان هذا المقياس هو المساحة النوعية للمجمعات الشمسية المستخدمة مع النظام قيد الدراسة، وتعرف المساحة النوعية للمجمعات الشمسية بأنها مساحة المجمع الشمسي اللازم استخدامه لنظام تبريد ما لإنتاج وحدة التبريد خلال تشغيل هذا النظام لمدة يوم. وكما هو واضح من التعريف السابق يفترض أن تكلفة النظام المستخدم تتناسب تناسباً مباشراً مع تكلفة المجمعات الشمسية المستخدمة في النظام.

الفصل الثالث

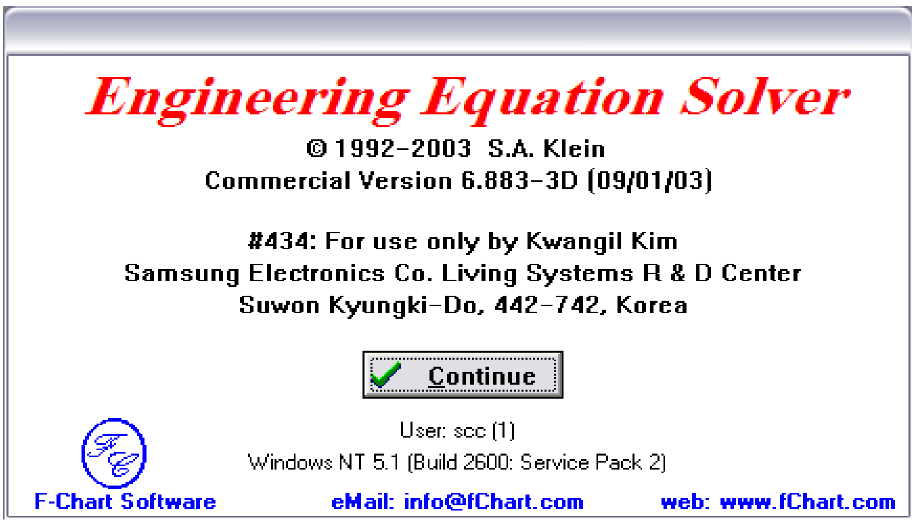
برنامج النمذجة EES

Engineering Equation Solver

٣.١ مقدمة:

يستخدم برنامج EES للنمذجة الرياضية في المسائل الحرارية [20]. بالإضافة إلى حل المعادلات الرياضية غير الخطية ورسم المخططات البيانية يحتوي البرنامج على قاعدة بيانات تتضمن الخواص الحرارية والفيزيائية لمعظم وسائط العمل المستخدمة في الآلات الحرارية وآلات التبريد.وهو أهم البرامج المستخدمة في البحث العلمي ورسائل الدكتوراه والماجستير.

عند فتح برنامج EES تظهر نافذة عرض تبين رقم نسخة البرنامج المسجلة ومعلومات أخرى إضافية (الشكل ٣.١). نقوم بالضغط على زر Continue في وسط هذه النافذة لإنهائها (للخروج منها).



الشكل(٣.١): النافذة الافتتاحية للبرنامج EES

تتوزع أوامر برنامج EES على عشرة قوائم رئيسية وشريط الأدوات يقع تحت القوائم الرئيسية ويحتوي على أزرار ضفيرة مهمتها الوصول السريع إلى أمر ما مهم.

عند تحريك الماوس فوق الزر والانتظار لبضع ثواني تظهر بعض الكلمات لتشرح وظيفة ذلك الزر ويمكن إخفاء شريط الأدوات عند الحاجة أو إعادة إظهاره باستخدام نافذة Preferences الواقعة ضمن القائمة الرئيسية options.

والشكل (٢.٣) يبين شريط الأدوات في برنامج EES:

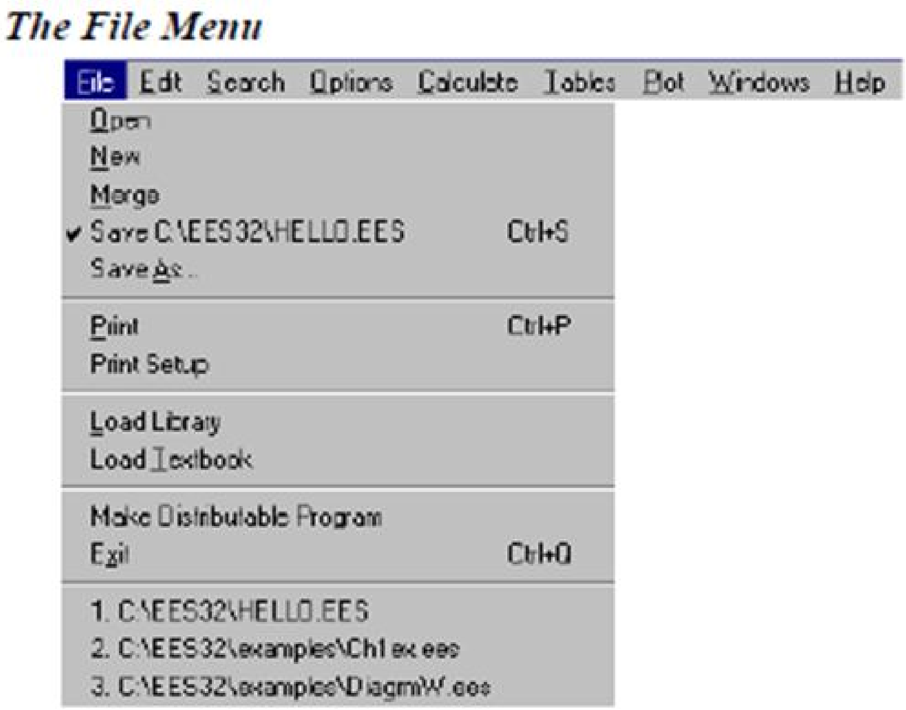


الشكل (٢.٣): شريط أدوات برنامج EES

٢.٣. قوائم برنامج EES الأساسية:

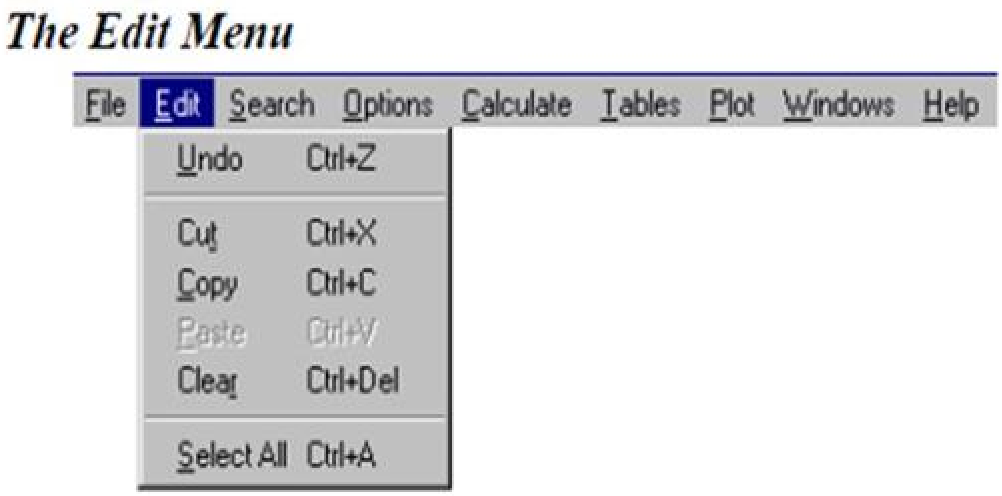
١. **قائمة System:** تتوضع عند أيقونة EES على الزاوية العليا الرئيسية. هذه القائمة ليست جزءا من EES ولكنها إحدى ميزات نظام التشغيل Windows وظيفتها (تحريك – تصغير–تكبير – إغلاق....) النافذة الرئيسية للبرنامج.

٢. **قائمة File:** تقدم أوامر التحميل، الدمج، وتخزين الملفات وطباعتها (الشكل ٣.٣).



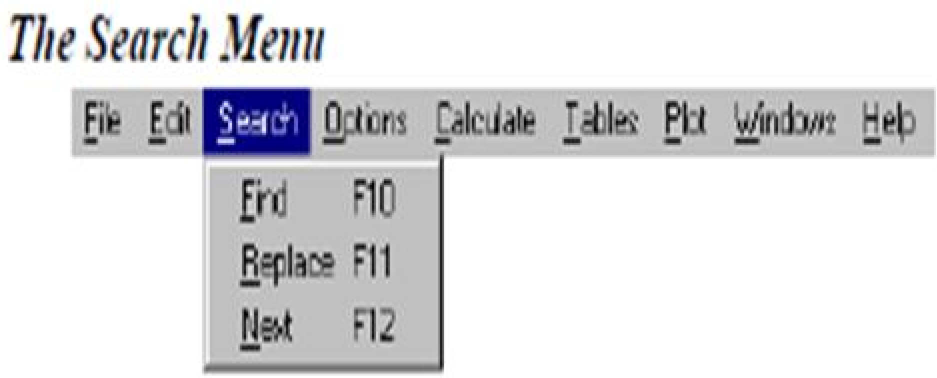
الشكل (٣.٣): قائمة File

٣. **قائمة Edit:** تقدم أوامر التحرير كقطع ونسخ ولصق المعلومات (الشكل ٤.٣).



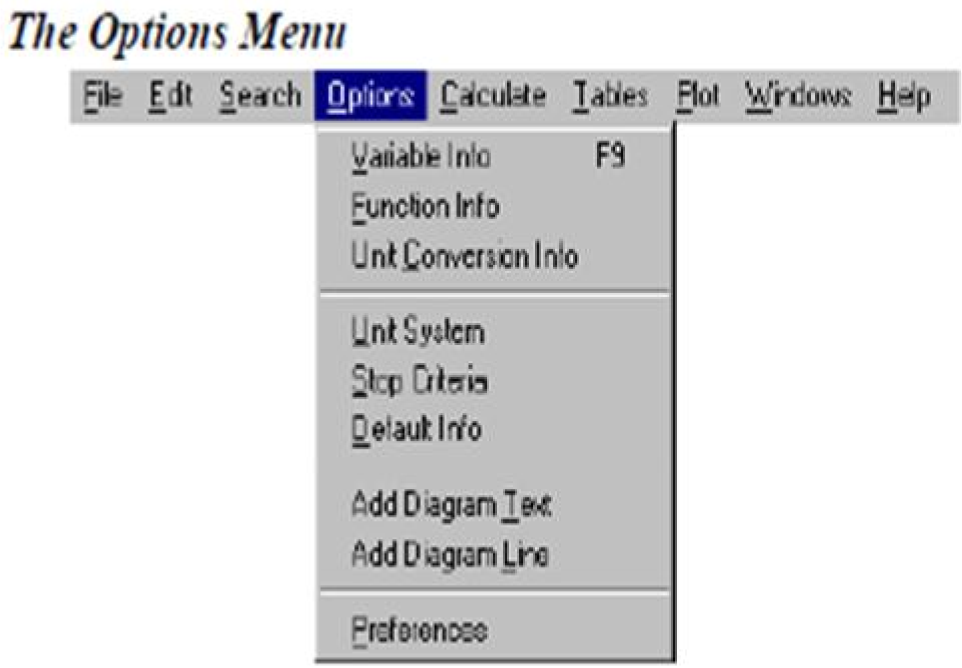
الشكل (٤.٣): قائمة Edit

٤. **قائمة Search:** تقدم أوامر البحث، الإيجاد والاستبدال للمعادلات والمعطيات في نافذة المعادلات (الشكل ٣.٥).



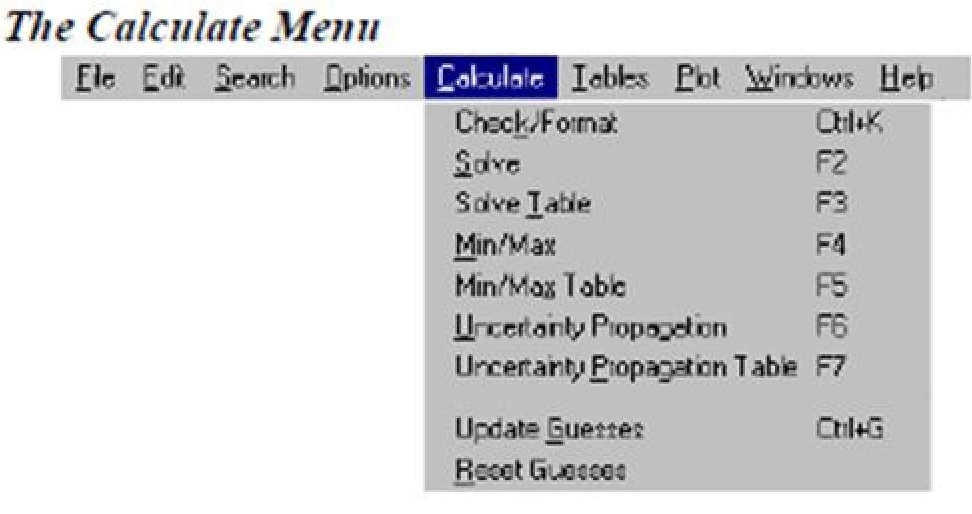
الشكل (٣.٥): قائمة Search

٥. **قائمة Options:** تقدم أوامر ضبط وتعيير قيم المتغيرات ونظام الواحدات المستخدمة والتوابع وإيجاد خواص المواد (الشكل٣.٦).



الشكل (٦.٣): قائمة Options

٦. **قائمة Calculate:** تستخدم لتقديم حلول المعادلات وإيجاد القيم المجهولة (الشكل ٧.٣).



الشكل (٧.٣): قائمة Calculate

٧. **قائمة Tables:** تحتوي أوامر لإنشاء جداول وتعديلها ولها استخدامات مهمة جداً لحل المعادلات عند قيم مختلفة لأحد المتحولات (الشكل ٨.٣).



الشكل (٨.٣): قائمة Tables

٨. **قائمة Plot:** تحتوي أوامر لرسم وتعيل المخططات البيانية لمتحولات مختلفة وعند قيم مختارة وتعدلها عند الضرورة (الشكل ٩.٣).



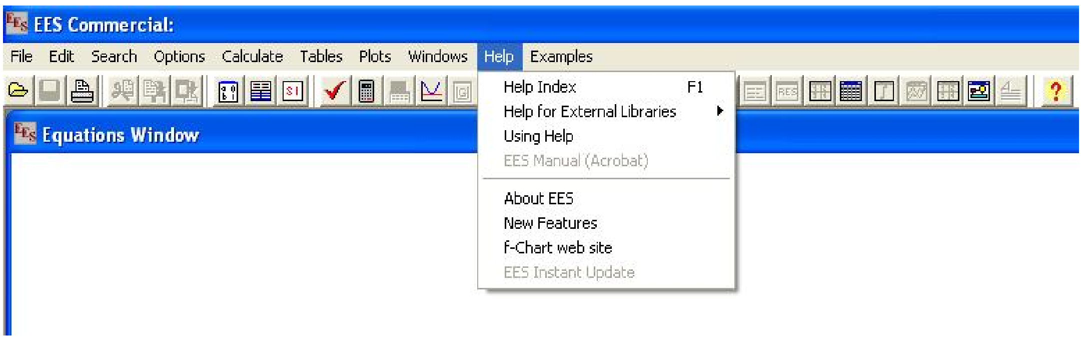
الشكل (٩.٣): قائمة Plot

٩. **قائمة Windows:** تستخدم لاستدعاء أي من النوافذ السابقة (الجداول، المعادلات، المخططات البيانية وغيرها) الشكل (١٠.٣).



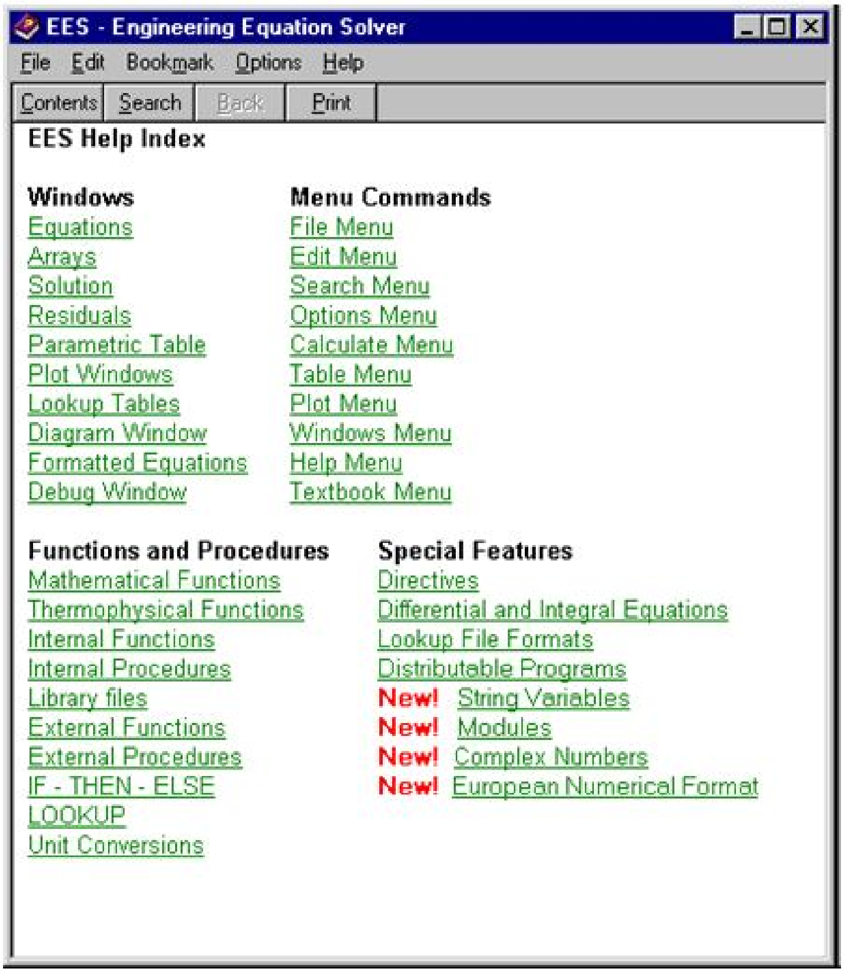
الشكل (١٠.٣): قائمة Windows

١٠. **قائمة Help:** تستخدم لتقديم المساعدة لكل الأوامر السابقة (الشكل١١.٣).



الشكل (١١.٣): قائمة Help

يوجد هناك شرح مفصل لتفسير أي نقطة من نقاط البرنامج EES بالضغط على زر F1 ستستدعى نافذة المساعدة المتعلقة بالنافذة الرئيسية (الشكل ١٢.٣). بالضغط على زر المحتويات المتضمنة في هذه النافذة سيظهر فهرس المساعدة في الأسفل وعند الضغط على الكلمة المشار إليها بخط (يظهر هذا الخط بلون أخضر أو بلون شاشة العرض) ستزود بالمساعدة المتعلقة بتلك المادة.



الشكل (١٢.٣): نافذة تقديم المساعدات

بعض الملاحظات لكتابة المعادلات على برنامج EES:

- ♦ لا يوجد فرق بين الرموز الصغيرة و الكبيرة.
- ♦ العبارات التوضيحية يجب أن توضع بين قوسين { } أو ضمن إشارتي تنصيص " ".
- ♦ المتحولات يجب أن تبدأ بحرف ويمكن أن تحتوي بعده أي محرف باستثناء الرموز التالية : ({ ; } " : ^ + / * ، ()).
- ♦ يمكن كتابة أكثر من معادلة على نفس السطر على أن نفصل فيما بينها بفاصلة منقوطة.
- ♦ عدد الحروف الأعظمية المسموحة في السطر هي 225.

♦ لرفع القوة نستخدم ^ أو **.

♦ ليس هناك أي أهمية لترتيب المعادلات.

♦ واحدات الثوابت يمكن إدخالها مع الأرقام مباشرة ضمن قوسين مثل [m/s^2].

♦ نستخدم الرموز التالية عند الكتابة داخل البرنامج :

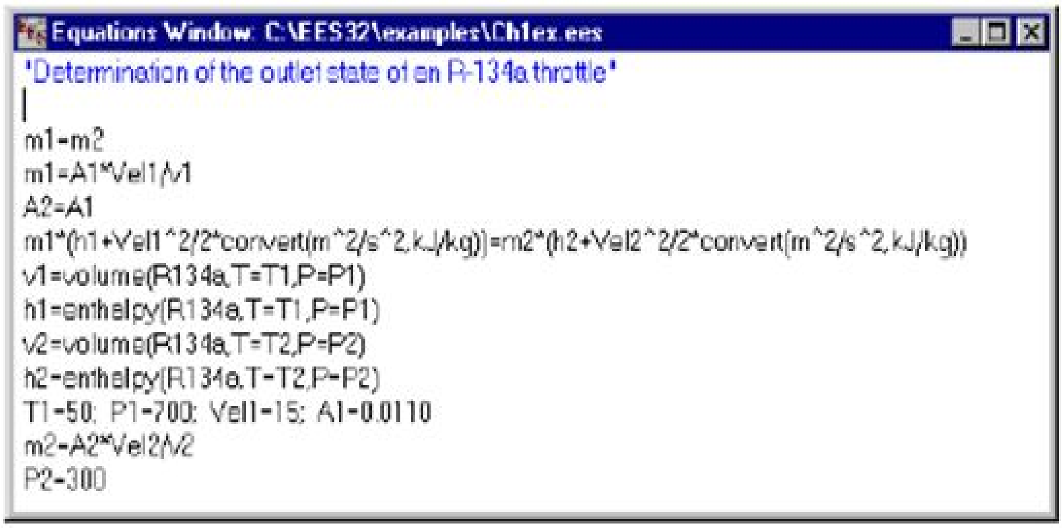
m_1	→	m_1
$\dot{m}$	→	*m_dot*

♦ يمكن استخدام الرموز الإغريقية بكتابة اسمها الفعلي مثلاً :

α = ١	→	*alpha=1*

٣.٣. نافذة كتابة المعادلات:

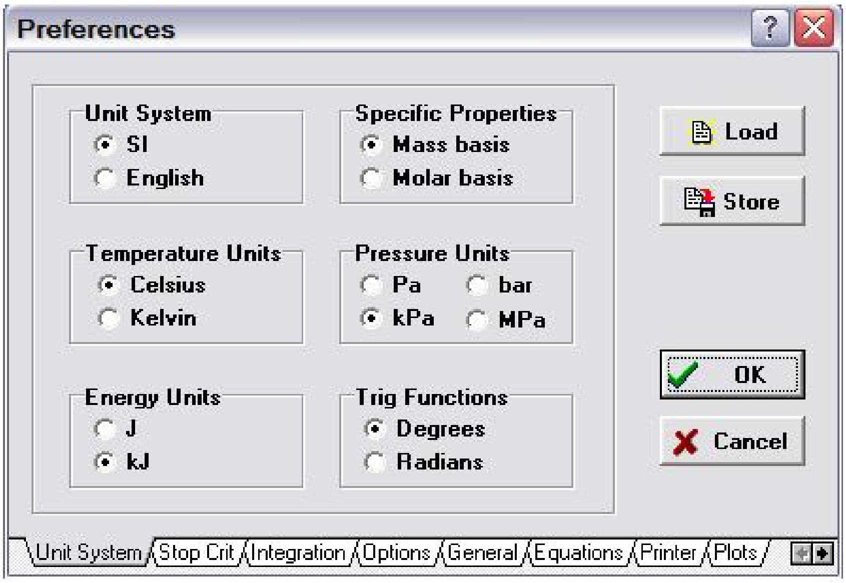
النافذة التي يمكن كتابة المعادلات ضمنها تدعى نافذة المعادلات (الشكل ١٣.٣) وهي تظهر بشكل آلي عند فتح البرنامج *EES* ولها الشكل:



الشكل (١٣.٣): نافذة كتابة المعادلات

٣.٤. نظام واحدات العمل:

لمعرفة أو لتعيير نظام الواحدة المستخدم في البرنامج نختار الأيقونة Unit system من قائمة Options فتظهر النافذة (٣.١٤) والتي يمكن من خلالها تعيير الواحدات المستخدمة:



الشكل (٣.١٤): نافذة تعيير الواحدات

٣.٥. حل المعادلات الغير خطية:

إن الميزة الأساسية لبرنامج EES هي حل مجموعة المعادلات الجبرية الغير خطية ولإثبات هذه الإمكانية نقوم بتشغيل برنامج EES وإدخال المسألة التالية (الشكل ٣.١٥) كمثال في نافذة المعادلات.



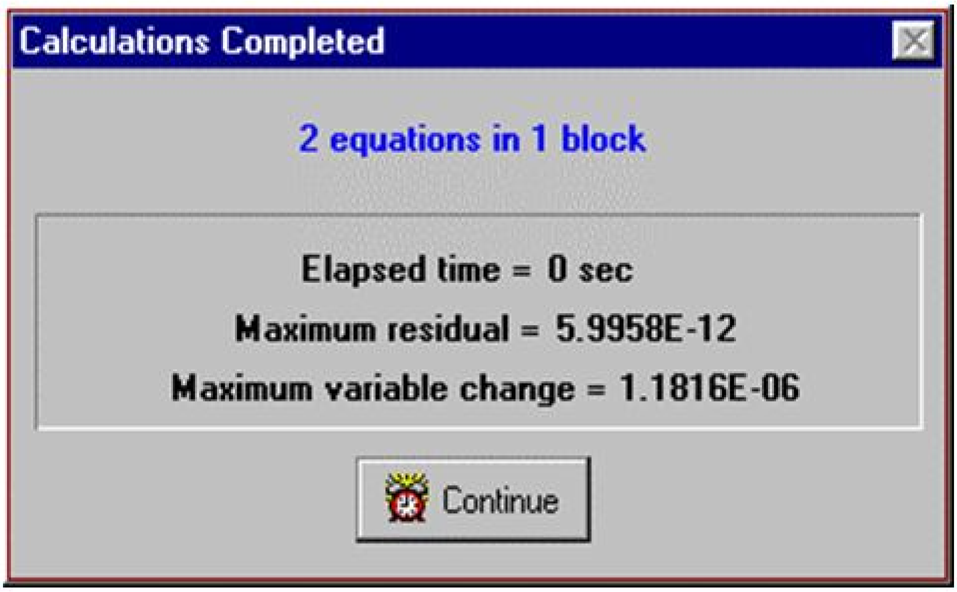
الشكل (١٥.٣): مثال لحل المعادلات غير الخطية

يمكن إظهار المعادلات السابقة بعد كتابتها بشكلها الرياضي في نافذة المعادلات بصيغتها الكتابية باختيار أمر نافذة المعادلات المنسقة من قائمة النوافذ فتظهر بالشكل (١٦.٣):



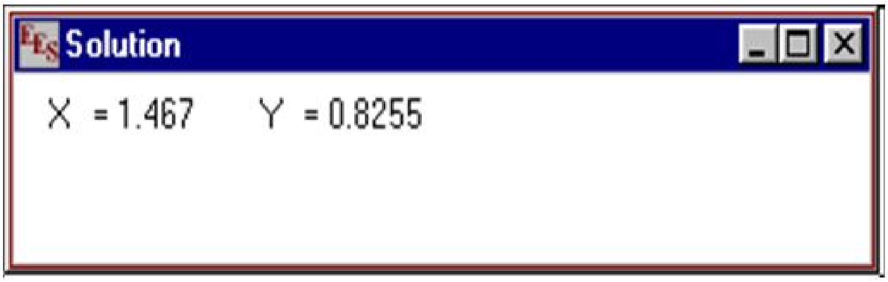
الشكل (١٦.٣): نافذة إظهار المعادلات بشكل منسق

باختيار الأمر حل من قائمة الحساب ستظهر نافذة الحوار في إشارة إلى تقدم عملية الحل وعندما تكتمل الحسابات يتغير الزر من إلغاء إلى متابعة كما في الشكل (١٧.٣):



الشكل (١٧.٣): نافذة انتهاء عملية الحل

بالنقر على زر المتابعة يتم عرض حل هذه المجموعة من المعادلات أي عرض قيم جميع المتحولات (الشكل ١٨.٣):



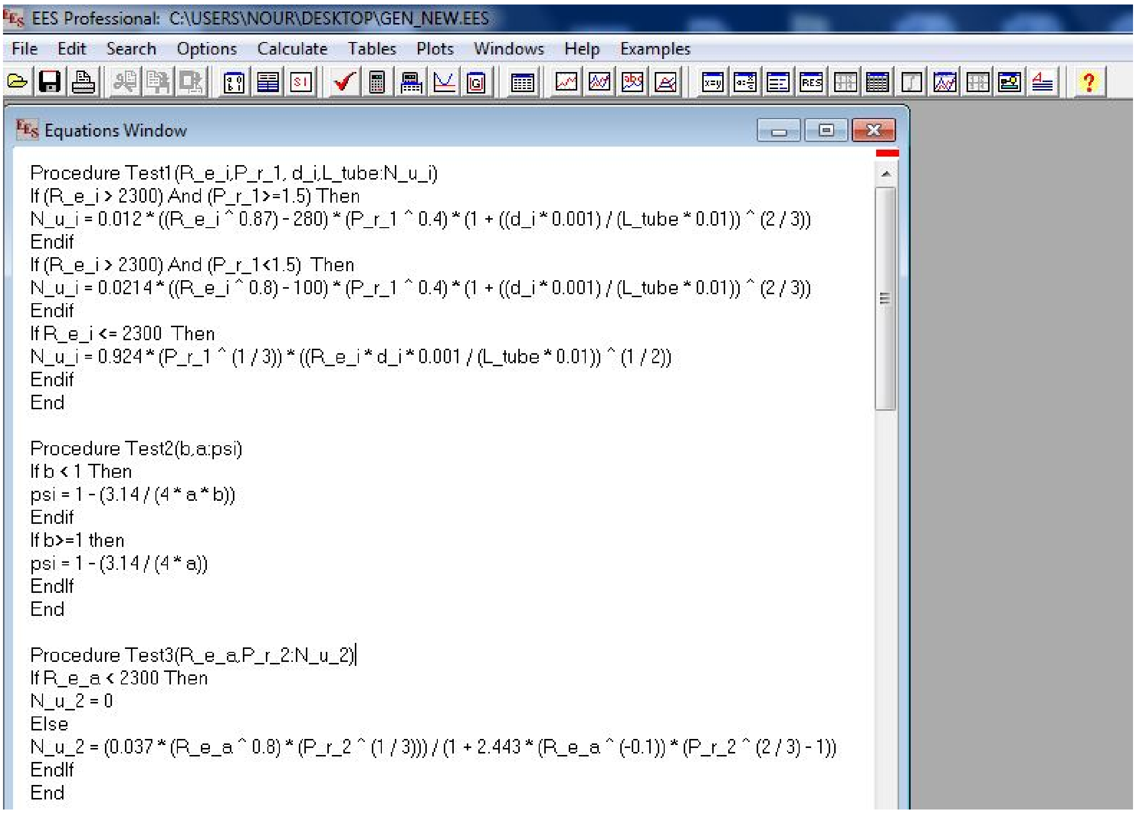
الشكل (١٨.٣): نافذة الحلول

الفصل الرابع

نـمذجة ومحاكاة مولد البـخار

٤.١. إنشاء النموذج البرمجي:

بتشغيل البرنامج EES واختيار أمر New من قائمة ملف، تظهر نافذة المعادلات فارغة قبل إدخال المعادلات [20]. نقوم بعد ذلك بكتابة معادلات انتقال الحرارة في مولد البخار وإدخال معادلات حساب الخواص الترموديناميكية والفيزيائية [21-32]، وبعد التدقيق بواسطة أمر Check/Format من قائمة Calculate يظهر البرنامج بعد كتابته على النافذة بالشكل (٤.١):



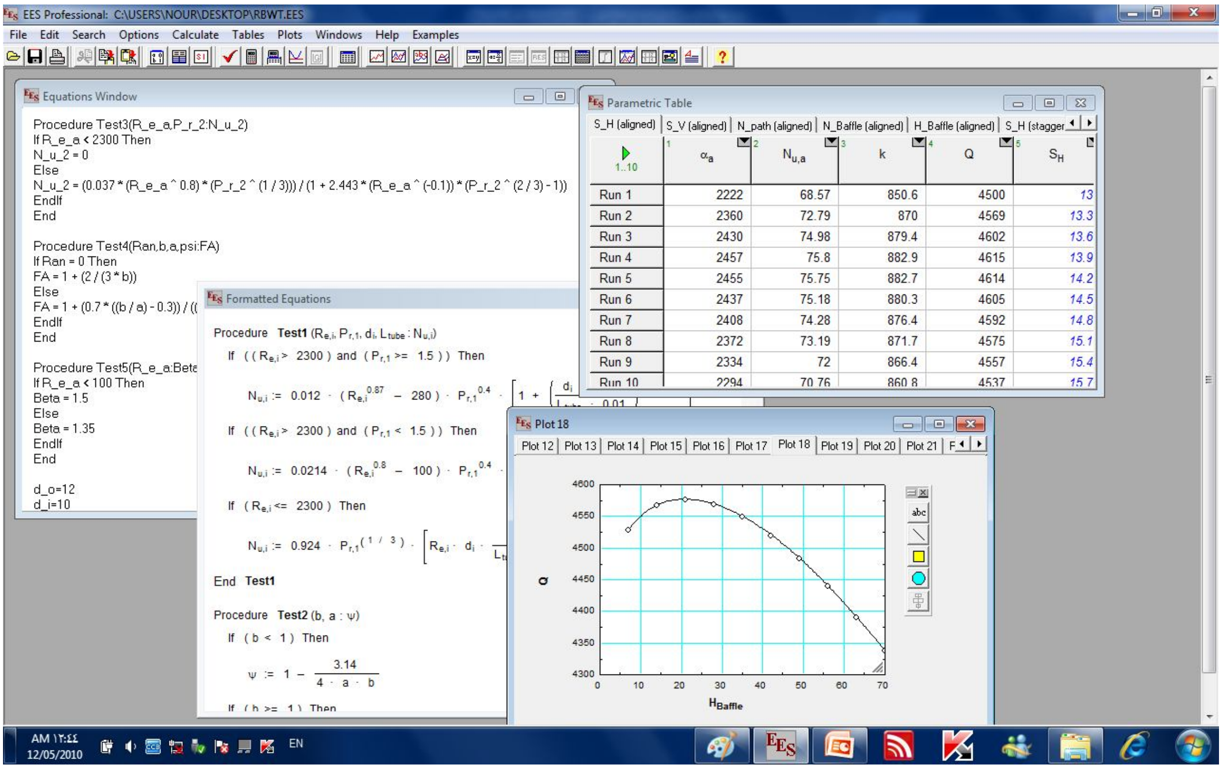

```
Procedure Test1(R_e_i,P_r_1, d_i,L_tube:N_u_i)
If (R_e_i > 2300) And (P_r_1>=1.5) Then
N_u_i = 0.012 * ((R_e_i ^ 0.87) - 280) * (P_r_1 ^ 0.4) * (1 + ((d_i * 0.001) / (L_tube * 0.01)) ^ (2 / 3))
Endif
If (R_e_i > 2300) And (P_r_1<1.5)  Then
N_u_i = 0.0214 * ((R_e_i ^ 0.8) - 100) * (P_r_1 ^ 0.4) * (1 + ((d_i * 0.001) / (L_tube * 0.01)) ^ (2 / 3))
Endif
If R_e_i <= 2300  Then
N_u_i = 0.924 * (P_r_1 ^ (1 / 3)) * ((R_e_i * d_i * 0.001 / (L_tube * 0.01)) ^ (1 / 2))
Endif
End

Procedure Test2(b,a:psi)
If b < 1 Then
psi = 1 - (3.14 / (4 * a * b))
Endif
If b>=1 then
psi = 1 - (3.14 / (4 * a))
EndIf
End

Procedure Test3(R_e_a,P_r_2:N_u_2)
If R_e_a < 2300 Then
N_u_2 = 0
Else
N_u_2 = (0.037 * (R_e_a ^ 0.8) * (P_r_2 ^ (1 / 3))) / (1 + 2.443 * (R_e_a ^ (-0.1)) * (P_r_2 ^ (2 / 3) - 1))
EndIf
End
```

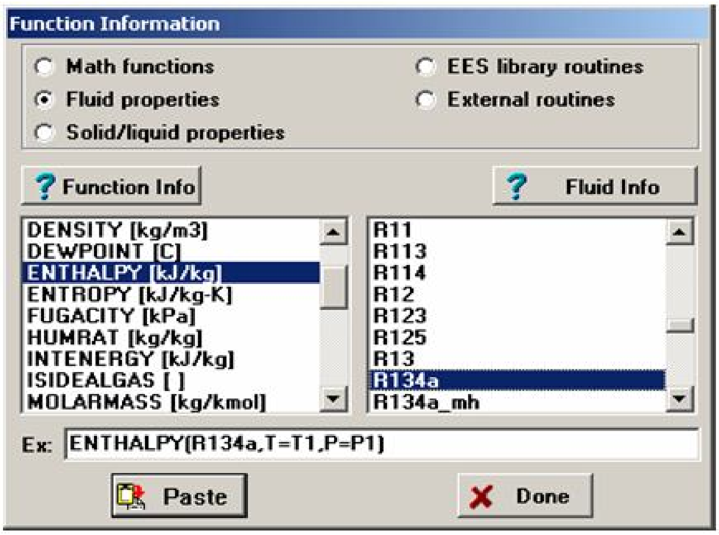
الشكل (٤.١): نافذة كتابة المعادلات لنموذج مولد البخار

للتأكد من الشكل النهائي للمعادلات نضغط Formated Equation من قائمة Windows فتظهر المعادلات بشكلها المنسق، الشكل ٢.٤ يظهر مجموعة من النوافذ الضمنية ضمن النموذج البرمجي الخاص بحسابات مولد بخار الدارة الامتصاصية وهذه النوافذ هي (نافذة كتابة المعادلات والخواص، نافذة المعادلات المنسقة، نافذة الجداول الحسابية ونافذة المخططات البيانية).



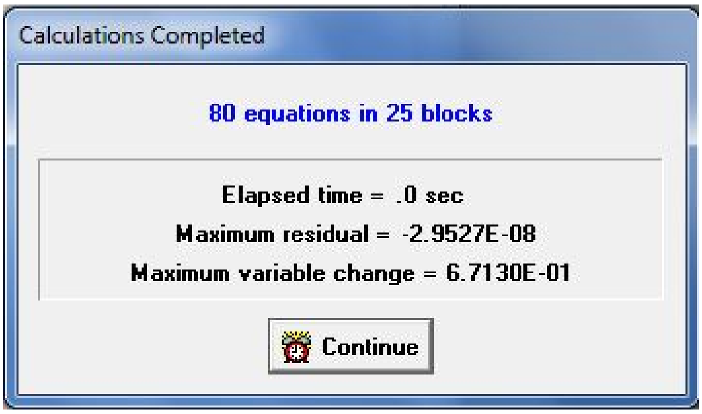
الشكل (٢.٤): مجموعة النوافذ الضمنية لنموذج مولد البخار

لإيجاد الخواص الترموديناميكية مثل (الانتالبي، الانتروبي، الحرارة النوعية، اللزوجة، الكثافة، ....) نستخدم أمر Function Information من قائمة Option [20] فيعرض مربع حوار كما هو مبين في الشكل (٣.٤):



الشكل (٣.٤): نافذة إدخال الخواص الترموديناميكية والفيزيائية لوسائط العمل

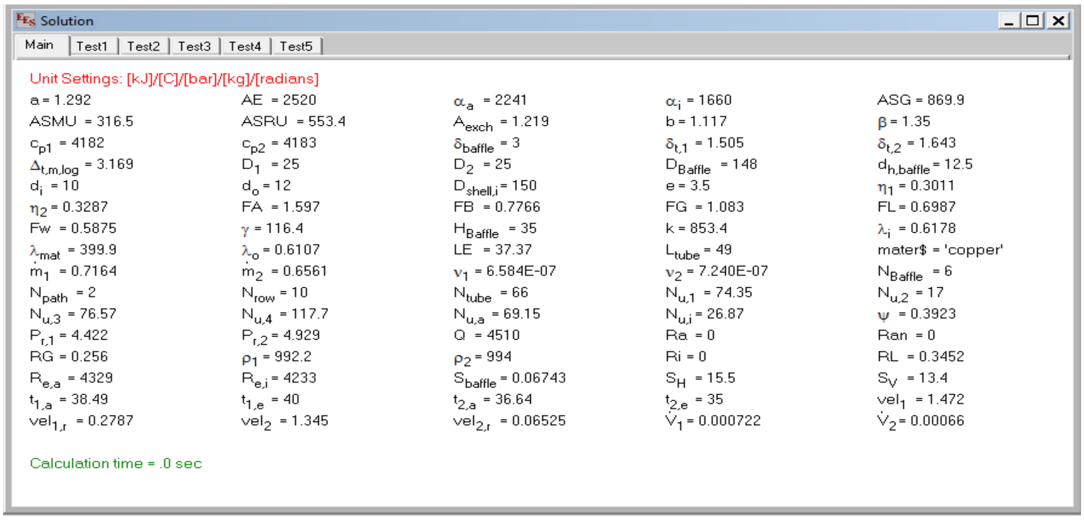
لحل جملة المعادلات نختار أمر Solve من قائمة Calculate ستظهر نافذة الحوار في إشارة إلى تقدم عملية الحل وعندما تكتمل الحسابات يتغير الزر من إلغاء إلى متابعة كما في الشكل (٤.٤):



الشكل (٤.٤): نافذة إتمام الحل

بالنقر على زر المتابعة يتم عرض حل النموذج المعد (الشكل ٥.٤) أي عرض قيم كافة البرامترات (السرعات، التدفقات، سطوح التبادل الحراري، كميات الحرارة المتبادلة،

الضغوط، درجات الحرارة، التراكيز، معامل انتقال الحرارة، الخواص الثرموديناميكية....) وذلك عند شروط حدية مختلفة.

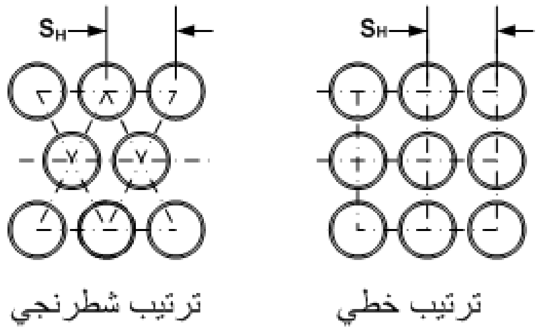


الشكل (٤.٥): نافذة حلول نموذج مولد البخار

٤.٢. نتائج النمذجة:

٤.٢.١. تأثير الخطوة الأفقية S_H:

تسمى المسافة الأفقية الواقعة بين محاور انبوبين متجاورين في مولد البخار ذو حزمة الأنابيب بالخطوة الأفقية ويرمز لها بالرمز S_H، أما المسافة الشاقولية بين المحاور فتدعى بالخطوة الشاقولية ويرمز لها بالرمز S_V. كما نميز بين نوعين من ترتيب الأنابيب (الشكل ٤.٦) هما الترتيب الخطي والترتيب الشطرنجي ففي الترتيب الخطي تصنع الخطوط الواصلة بين المحاور الأفقية للأنابيب مع الخطوط الواصلة بين المحاور الشاقولية زوايا قائمة، أما في الترتيب الشطرنجي فيتم انزياح لصفوف الأنابيب لمقدار ما بشكل متناوب [28] .



الشكل (٦.٤): ترتيب الأنابيب في مولدات البخار الأنبوبية

تلعب نوعية ترتيب الأنابيب ومقدار كل من الخطوة الأفقية والشاقولية دوراً كبيراً في عملية انتقال الحرارة ضمن مولد البخار وبالتالي في زيادة كمية البخار المتولدة وزيادة فعالية آلة التبريد الامتصاصية الشمسية [28]. لدراسة تأثير الخطوة الأفقية قمنا بإنشاء جدول لقيم متغيرة تتراوح بين ($S_H = 13$ mm − $S_H = 15{,}7$ mm) مع العلم أن قطر الأنبوب الخارجي هو $d = 12$ mm ومن ثم تم الاعتماد على البرنامج في حساب كافة البرامترات المرافقة لتلك القيم وذلك في حالة الترتيب الخطي كما في الشكل (٧.٤).

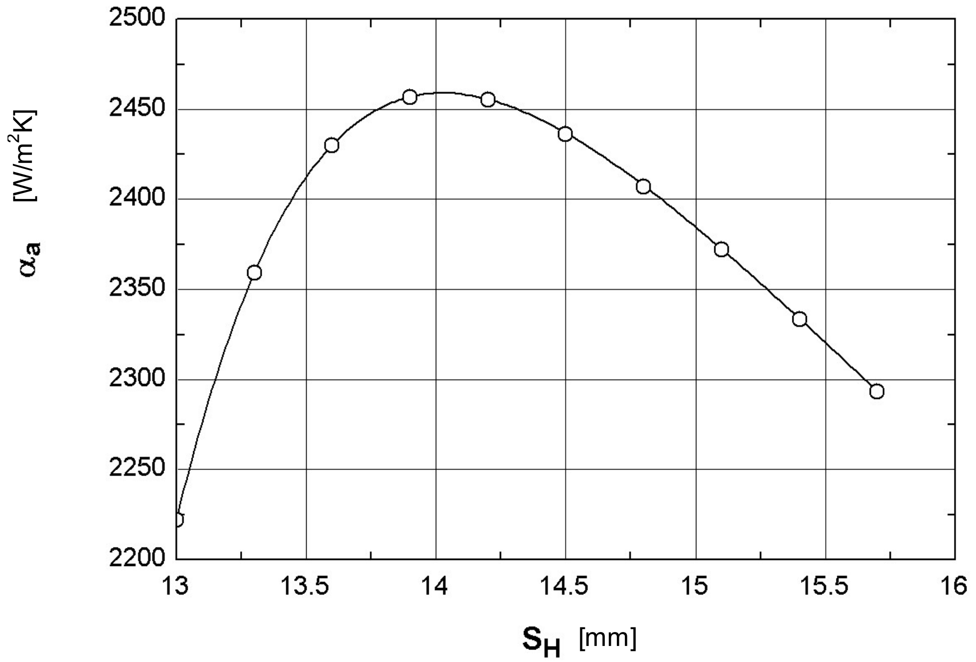
Parametric Table

S_H (aligned) | S_V (aligned) | N_path (aligned) | N_Baffle (aligned) | H_Baffle (aligned) | S_H (stagger

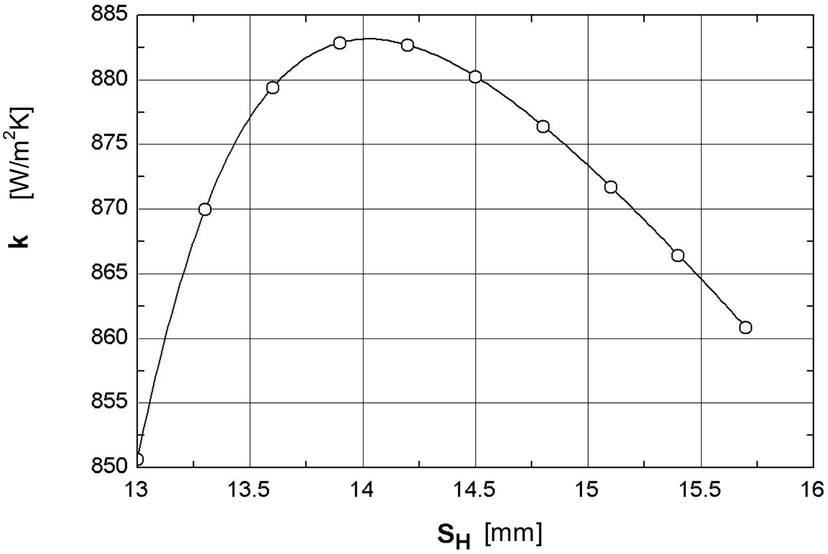
1..10	1 α_a	2 $N_{u,a}$	3 k	4 Q	5 S_H
Run 1	2222	68.57	850.6	4500	13
Run 2	2360	72.79	870	4569	13.3
Run 3	2430	74.98	879.4	4602	13.6
Run 4	2457	75.8	882.9	4615	13.9
Run 5	2455	75.75	882.7	4614	14.2
Run 6	2437	75.18	880.3	4605	14.5
Run 7	2408	74.28	876.4	4592	14.8
Run 8	2372	73.19	871.7	4575	15.1
Run 9	2334	72	866.4	4557	15.4
Run 10	2294	70.76	860.8	4537	15.7

الشكل (٧.٤): جدول تأثير الخطوة الافقية في الترتيب الخطي

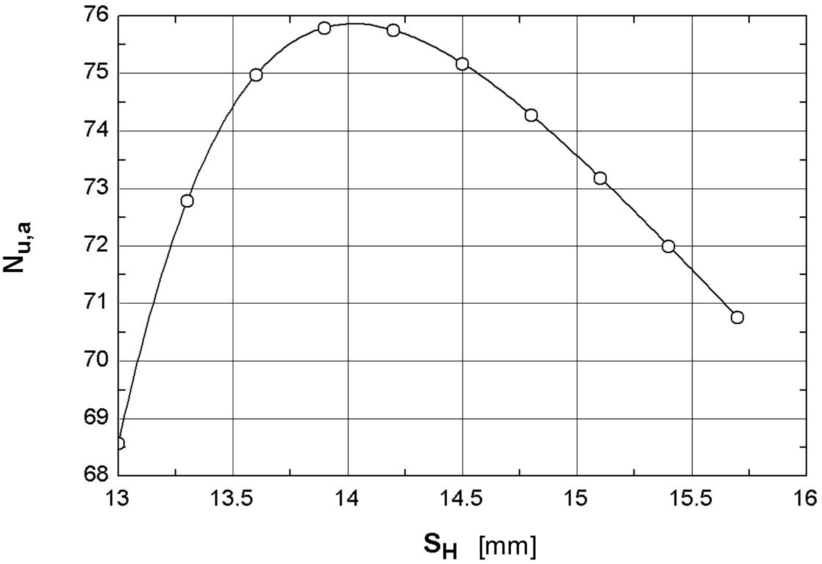
الأشكال (٨.٤- ٩.٤ – ١٠.٤ – ١١.٤) توضح تأثير تغيير تلك الخطوة على كل من معامل الحمل الحراري الخارجي ومعامل انتقال الحرارة الإجمالي ورقم نوسلت والاستطاعة الحرارية لمولد البخار في حالة الترتيب الخطي، نلاحظ ازدياد فعالية انتقال الحرارة بشكل تدريجي إلى أن تصل إلى ذروتها عند القيمة $S_H = 14$ mm وبعدها تبدأ بالتناقص مع زيادة قيمة الخطوة.



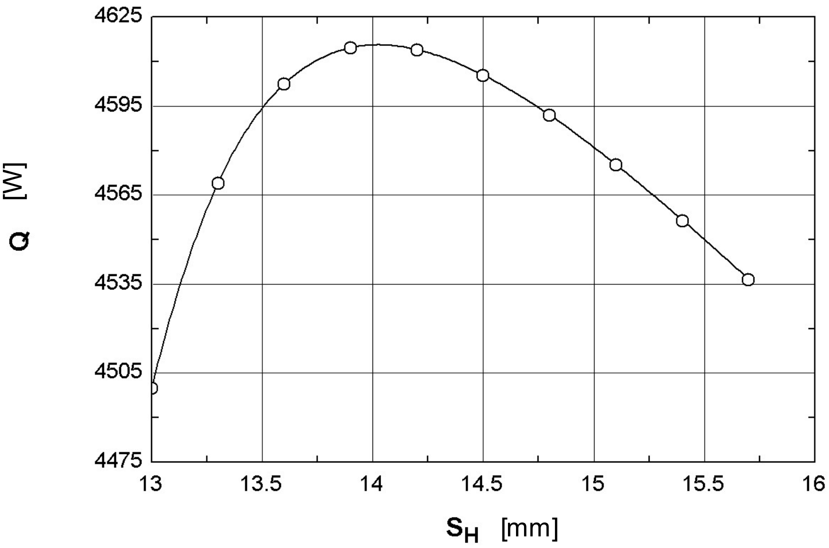
الشكل (٨.٤): تأثير الخطوة الافقية على معامل الحمل الحراري الخارجي في الترتيب الخطي



الشكل (٩.٤): تأثير الخطوة الافقية على معامل انتقال الحرارة الاجمالي في الترتيب الخطي



الشكل (١٠.٤): تأثير الخطوة الافقية على رقم نوسلت الخارجي في الترتيب الخطي



الشكل (٤.١١): تأثير الخطوة الافقية على الاستطاعة الحرارية للمولد في الترتيب الخطي

كما قمنا بانشاء جدول لتأثير الخطوة الأفقية على فعالية التبادل الحراري في الترتيب الشطرنجي للأنابيب (شكل ٤.١٢).

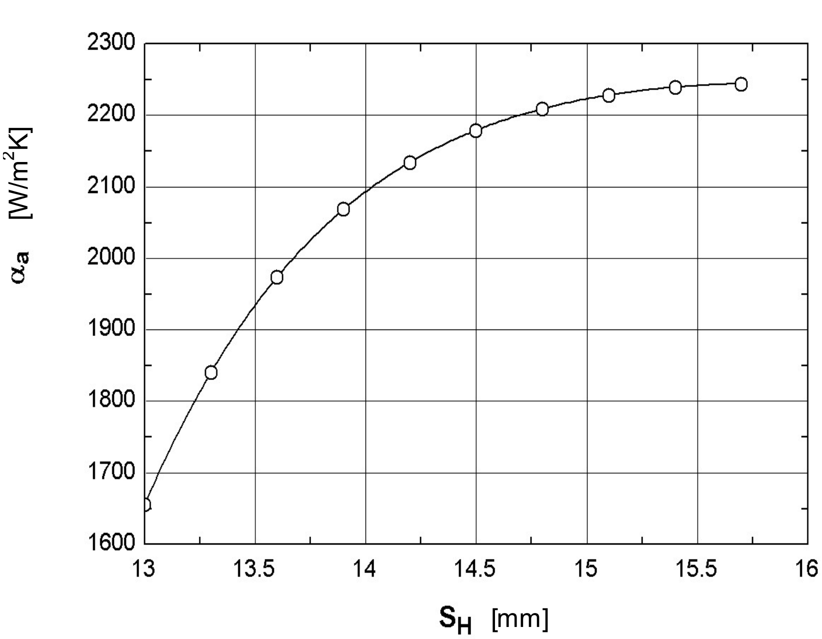
Parametric Table

N_path (aligned) | N_Baffle (aligned) | H_Baffle (aligned) | S_H (staggered) | S_V (staggered) | N_path

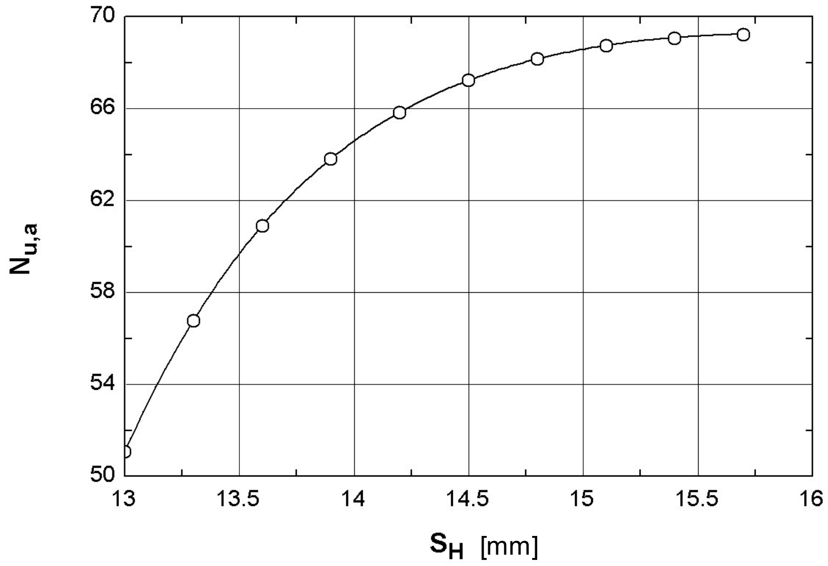
1..10	α_a	$N_{u,a}$	k	Q	S_H
Run 1	1656	51.08	752.1	4130	13
Run 2	1841	56.8	788.1	4269	13.3
Run 3	1975	60.92	811.6	4357	13.6
Run 4	2069	63.83	827.1	4414	13.9
Run 5	2134	65.85	837.4	4452	14.2
Run 6	2179	67.24	844.3	4477	14.5
Run 7	2209	68.16	848.7	4493	14.8
Run 8	2228	68.75	851.5	4503	15.1
Run 9	2239	69.09	853.1	4509	15.4
Run 10	2244	69.23	853.8	4511	15.7

الشكل (٤.١٢):جدول تأثير الخطوة الافقية في الترتيب الشطرنجي للأنابيب

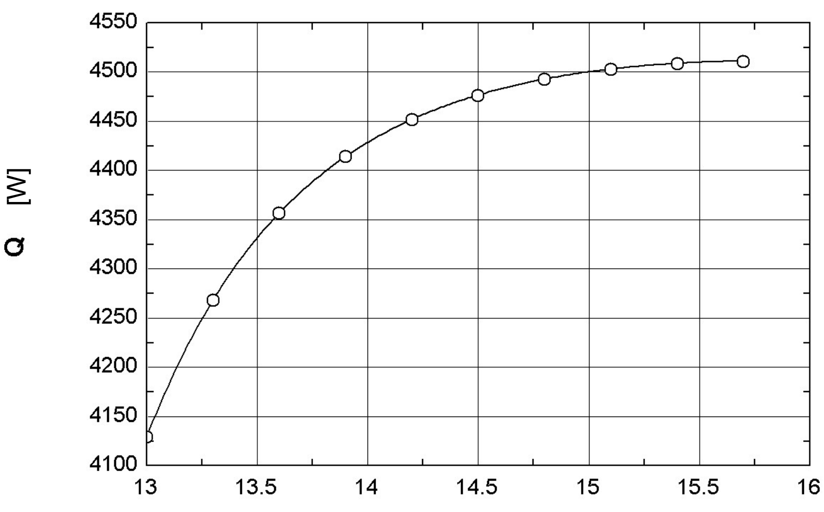
الأشكال (١٣.٤– ١٤.٤ – ١٥.٤ – ١٦.٤) توضح تأثير تغيير الخطوة الأفقية على كل من معامل الحمل الحراري الخارجي ومعامل انتقال الحرارة الإجمالي ورقم نوسلت والاستطاعة الحرارية لمولد البخار في حالة الترتيب الشطرنجي، نلاحظ ازدياد فعالية انتقال الحرارة بشكل تدريجي مع زيادة قيمة الخطوة.



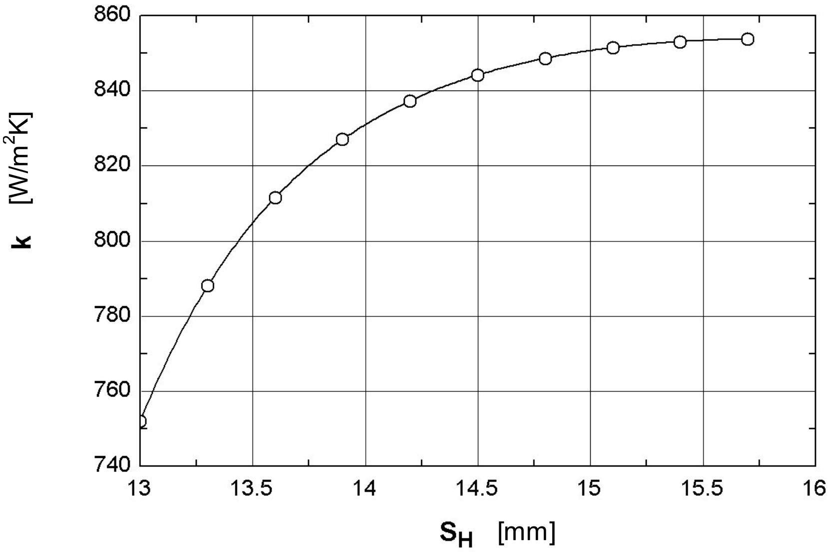
الشكل (١٣.٤): تأثير الخطوة الافقية على معامل الحمل الحراري الخارجي في الترتيب الشطرنجي



الشكل (٤.١٤): تأثير الخطوة الافقية على رقم نوسلت الخارجي في الترتيب الشطرنجي



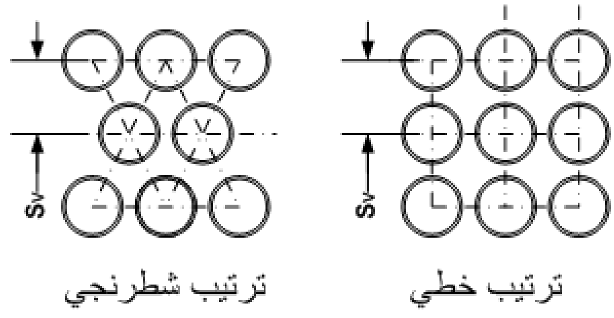
الشكل (٤.١٥): تأثير الخطوة الافقية على الاستطاعة الحرارية للمولد في الترتيب الشطرنجي



الشكل (١٦.٤): تأثير الخطوة الافقية على معامل انتقال الحرارة الاجمالي في الترتيب الشطرنجي

٢.٢.٤. تأثير الخطوة الشاقولية S_V:

لدراسة تأثير الخطوة الشاقولية (الشكل ١٧.٤) قمنا بإنشاء جدول لقيم متغيرة للخطوة الشاقولية تتراوح بين ($S_V = 13$ mm – $S_V = 15{,}7$ mm) مع العلم أن قطر الأنبوب الخارجي هو $d = 12$ mm ومن ثم تم الاعتماد على البرنامج في حساب كافة البرامترات المرافقة لتلك القيم وذلك في حالة الترتيب الخطي كما في الشكل (١٨.٤).



الشكل (١٧.٤): الخطوة الشاقولية في الترتيب الخطي والشطرنجي

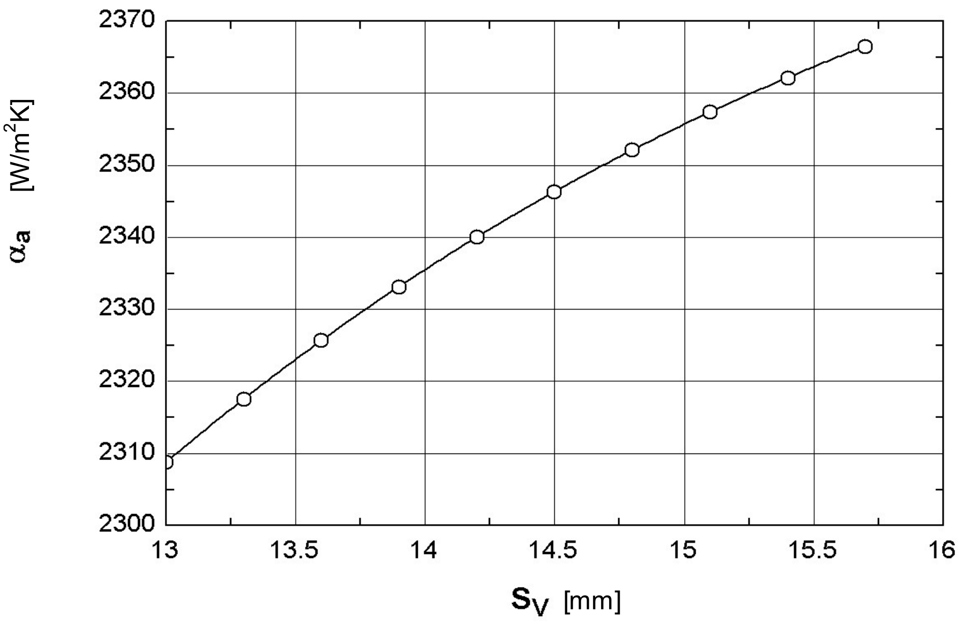
Parametric Table

S_H (aligned) | S_V (aligned) | N_path (aligned) | N_Baffle (aligned) | H_Baffle (aligned) | S_H (stagger

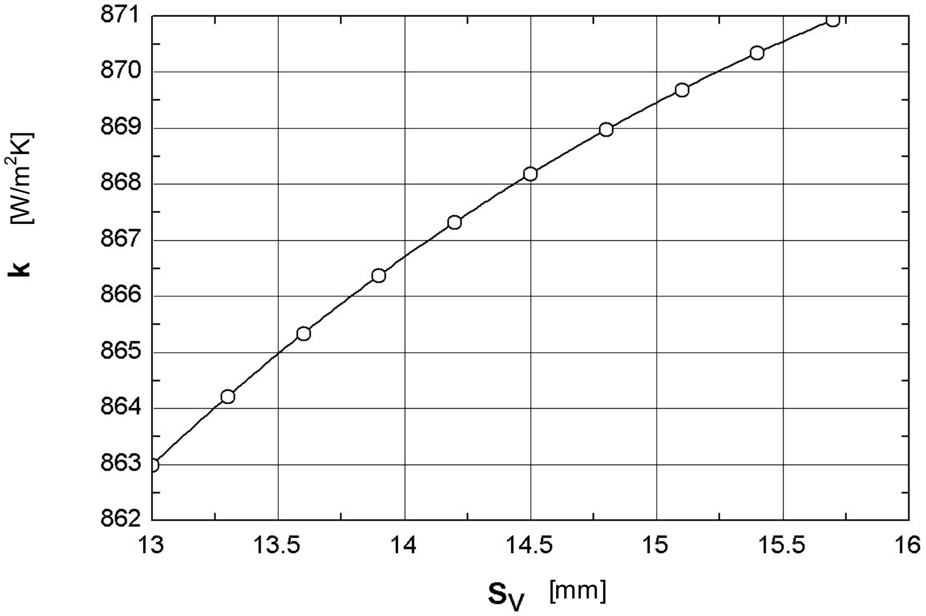
1..10	α_a	$N_{u,a}$	k	Q	S_V
Run 1	2309	71.23	863	4544	13
Run 2	2318	71.5	864.2	4549	13.3
Run 3	2326	71.75	865.3	4553	13.6
Run 4	2333	71.98	866.4	4556	13.9
Run 5	2340	72.19	867.3	4560	14.2
Run 6	2346	72.39	868.2	4563	14.5
Run 7	2352	72.57	869	4566	14.8
Run 8	2357	72.73	869.7	4568	15.1
Run 9	2362	72.88	870.3	4570	15.4
Run 10	2367	73.01	870.9	4573	15.7

الشكل (١٨.٤): جدول تأثير الخطوة الشاقولية في الترتيب الخطي

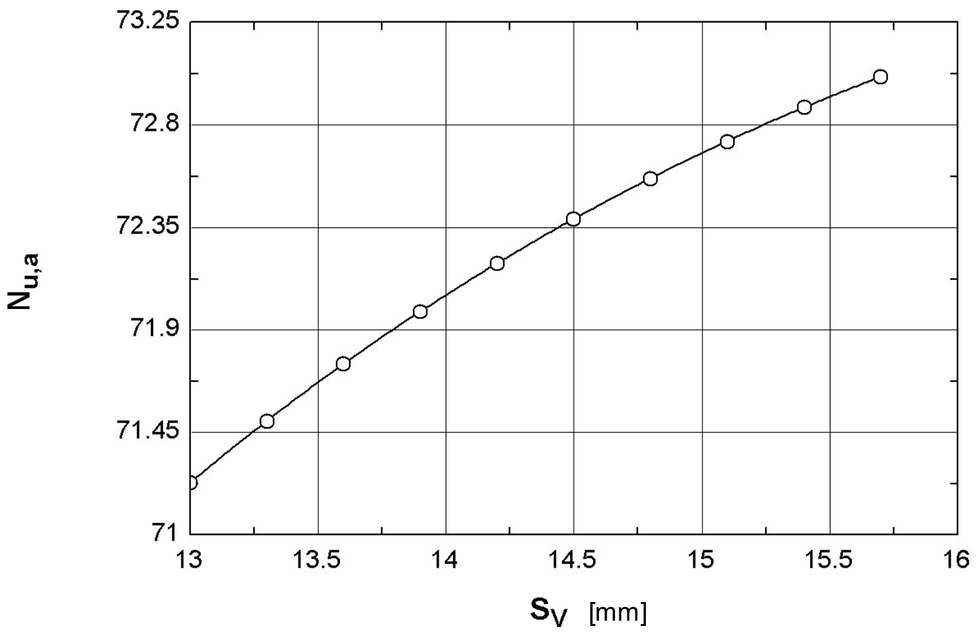
الأشكال (١٩.٤– ٢٠.٤ – ٢١.٤ – ٢٢.٤) توضح تأثير تغيير الخطوة الشاقولية على كل من معامل الحمل الحراري الخارجي ومعامل انتقال الحرارة الإجمالي ورقم نوسلت والاستطاعة الحرارية لمولد البخار في حالة الترتيب الخطي، نلاحظ ازدياد فعالية انتقال الحرارة بشكل تدريجي مع زيادة قيمة الخطوة الشاقولية.



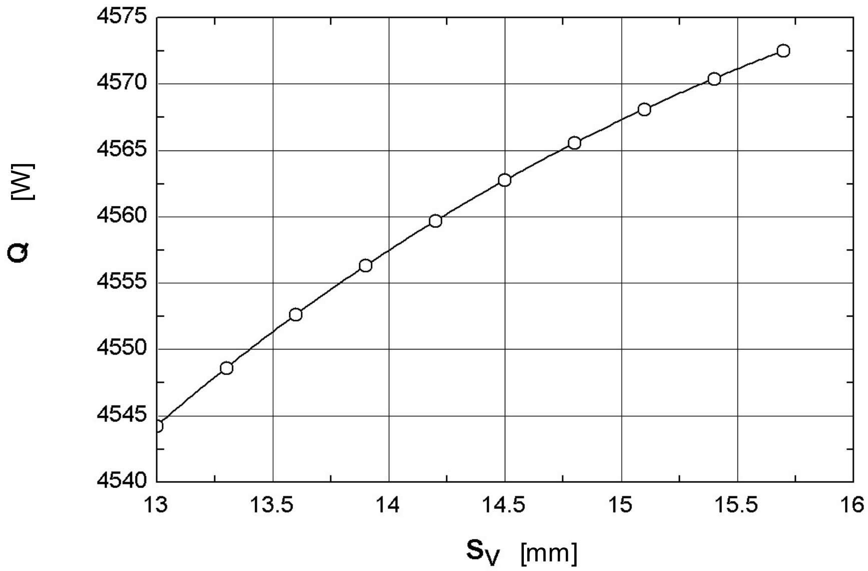
الشكل (١٩.٤): تأثير الخطوة الشاقولية على معامل الحمل الحراري الخارجي في الترتيب الخطي



الشكل (٢٠.٤): تأثير الخطوة الشاقولية على معامل انتقال الحرارة الاجمالي في الترتيب الخطي



الشكل (٢١.٤): تأثير الخطوة الشاقولية على رقم نوسلت الخارجي في الترتيب الخطي



الشكل (٢٢.٤): تأثير الخطوة الشاقولية على الاستطاعة الحرارية للمولد في الترتيب الخطي

كما قمنا بانشاء جدول لتأثير الخطوة الأفقية على فعالية التبادل الحراري في الترتيب الشطرنجي للأنابيب (شكل ٤.٢٣).

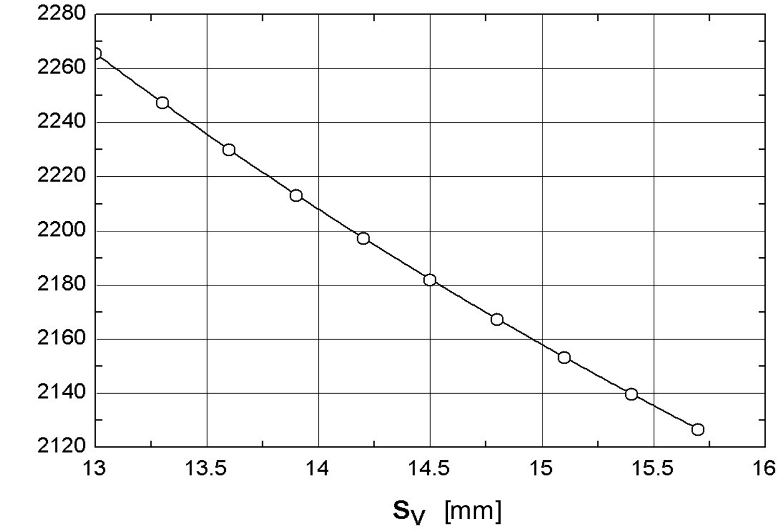
Parametric Table

N_path (aligned) | N_Baffle (aligned) | H_Baffle (aligned) | S_H (staggered) | S_V (staggered) | N_path

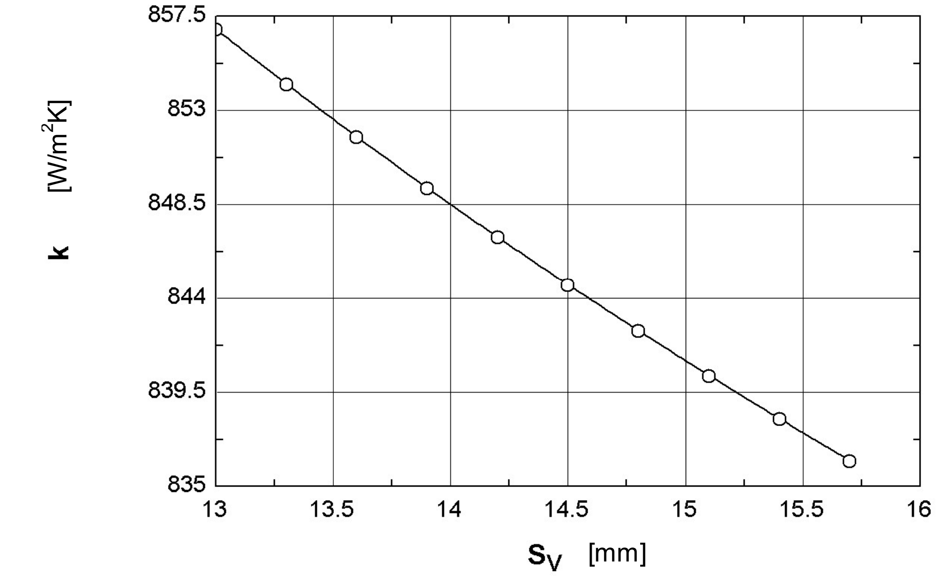
1..10	α_a	$N_{u,a}$	k	Q	S_V
Run 1	2266	69.9	856.9	4522	13
Run 2	2247	69.34	854.3	4513	13.3
Run 3	2230	68.8	851.7	4504	13.6
Run 4	2213	68.28	849.3	4495	13.9
Run 5	2197	67.79	846.9	4487	14.2
Run 6	2182	67.32	844.7	4478	14.5
Run 7	2167	66.87	842.4	4470	14.8
Run 8	2153	66.43	840.3	4463	15.1
Run 9	2140	66.01	838.2	4455	15.4
Run 10	2127	65.61	836.2	4448	15.7

الشكل (٤.٢٣): جدول تأثير الخطوة الشاقولية في الترتيب الشطرنجي

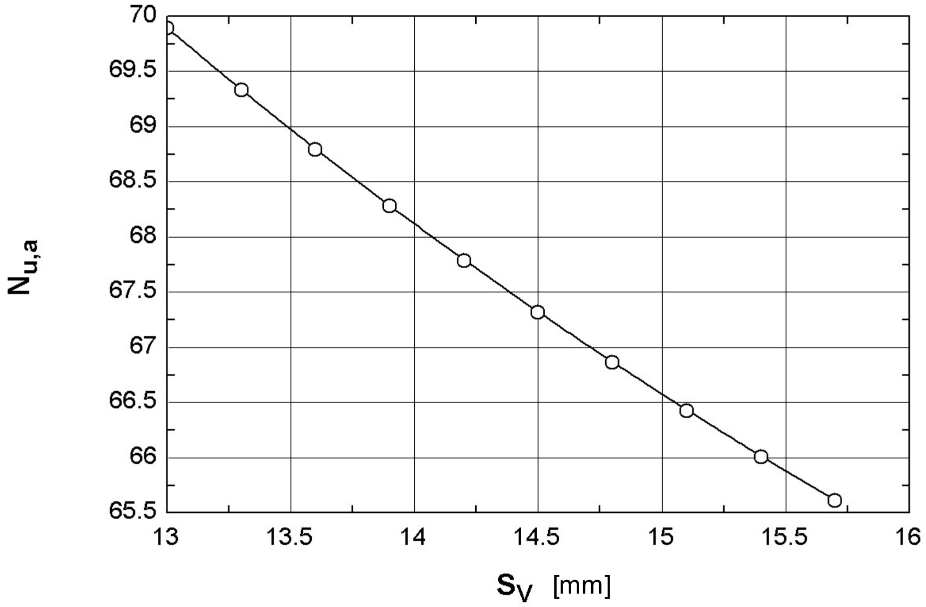
الأشكال (٤.٢٤- ٤.٢٥ – ٤.٢٦ – ٤.٢٧) توضح تأثير تغيير الخطوة الشاقولية على كل من معامل الحمل الحراري الخارجي ومعامل انتقال الحرارة الإجمالي ورقم نوسلت والاستطاعة الحرارية لمولد البخار في حالة الترتيب الشطرنجي، نلاحظ انخفاض فعالية انتقال الحرارة بشكل تدريجي مع زيادة قيمة الخطوة الشاقولية.



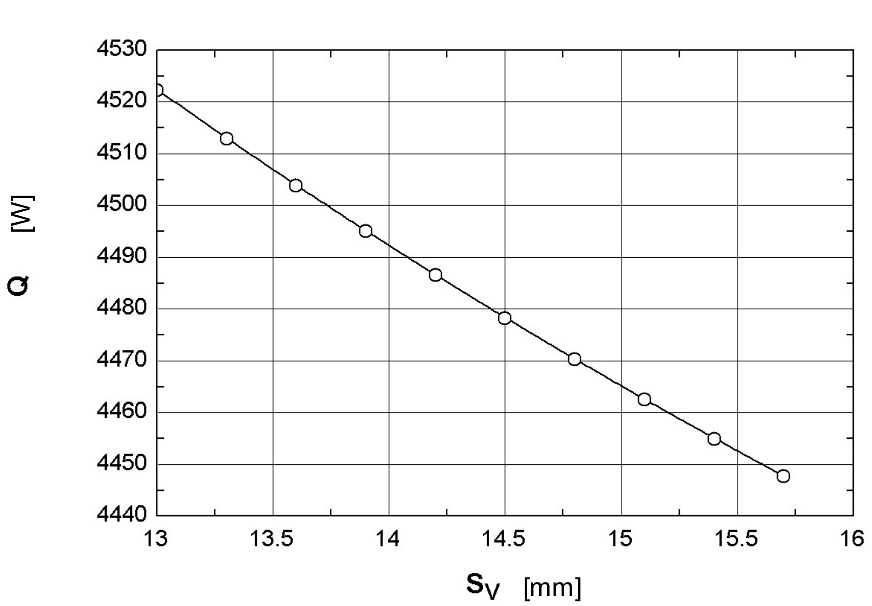
الشكل (٢٤.٤): تأثير الخطوة الشاقولية على معامل الحمل الحراري الخارجي للمولد في الترتيب الشطرنجي



الشكل (٢٥.٤): تأثير الخطوة الشاقولية على معامل انتقال الحرارة الاجمالي للمولد في الترتيب الشطرنجي



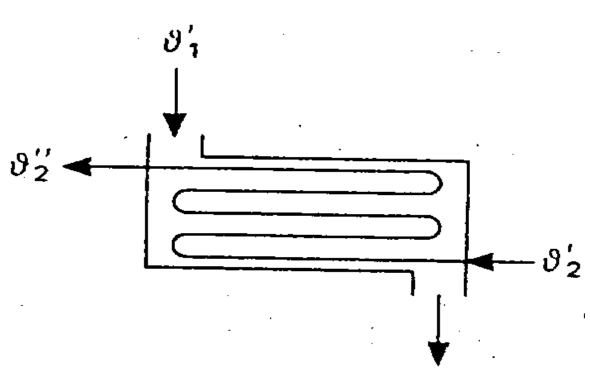
الشكل (٤.٢٦): تأثير الخطوة الشاقولية على رقم نوسلت الخارجي للمولد في الترتيب الشطرنجي



الشكل (٤.٢٧): تأثير الخطوة الشاقولية على الاستطاعة الحرارية للمولد في الترتيب الشطرنجي

٣.٢.٤. تأثير عدد الممرات N_{path}:

يلعب عدد ممرات الأنابيب دوراً كبيراً في عملية انتقال الحرارة ضمن مولد البخار وبالتالي في زيادة كمية البخار المتولدة وزيادة فعالية آلة التبريد الامتصاصية الشمسية (الشكل ٢٨.٤).



الشكل (٢٨.٤): مولد بخار أنبوبي ذو ٥ ممرات

لدراسة تأثير عدد الممرات قمنا بإنشاء جداول لقيم متغيرة تتراوح بين ممر واحد وعشرة ممرات ومن ثم تم الاعتماد على البرنامج في حساب كافة البرامترات المرافقة لتلك القيم وذلك في حالة الترتيب الخطي كما في الشكل (٢٩.٤) وفي الترتيب الشطرنجي كما في الشكل (٣٠.٤).

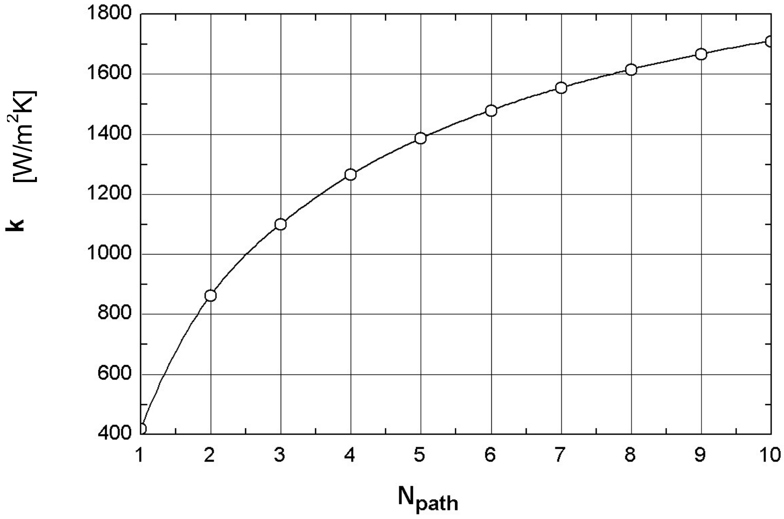
1..10	α_a	k	N_{path}	$N_{u,a}$	Q
Run 1	2320	419.8	1	71.59	2624
Run 2	2320	864.6	2	71.59	4550
Run 3	2320	1102	3	71.59	5316
Run 4	2320	1266	4	71.59	5761
Run 5	2320	1387	5	71.59	6052
Run 6	2320	1481	6	71.59	6258
Run 7	2320	1555	7	71.59	6411
Run 8	2320	1617	8	71.59	6529
Run 9	2320	1668	9	71.59	6623
Run 10	2320	1711	10	71.59	6700

الشكل (٢٩.٤): جدول تأثير عدد ممرات الأنابيب في المولد عند الترتيب الخطي

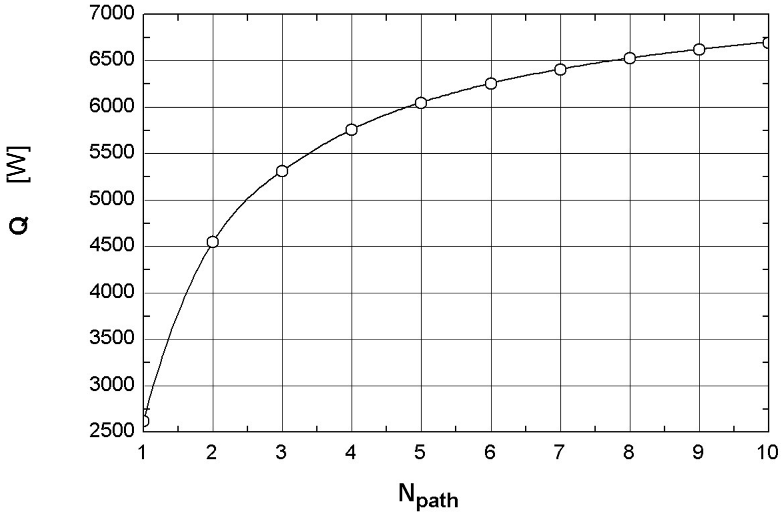
1..10	α_a	k	N_{path}	$N_{u,a}$	Q
Run 1	2241	417.1	1	69.15	2610
Run 2	2241	853.4	2	69.15	4510
Run 3	2241	1084	3	69.15	5263
Run 4	2241	1242	4	69.15	5700
Run 5	2241	1358	5	69.15	5986
Run 6	2241	1448	6	69.15	6188
Run 7	2241	1519	7	69.15	6339
Run 8	2241	1578	8	69.15	6455
Run 9	2241	1627	9	69.15	6548
Run 10	2241	1668	10	69.15	6624

الشكل (٣٠.٤): جدول تأثير عدد ممرات الأنابيب في المولد عند الترتيب الشطرنجي

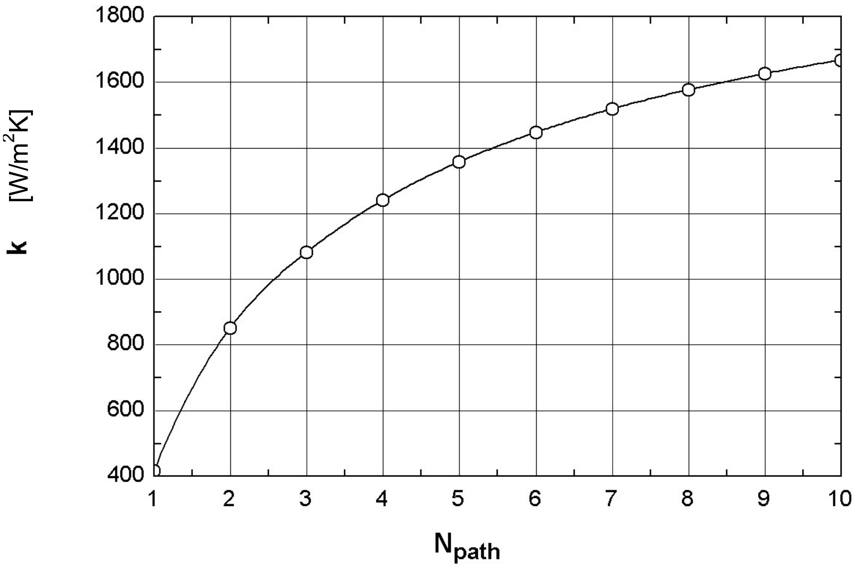
الأشكال (٣١.٤– ٣٢.٤ – ٣٣.٤ – ٣٤.٤) توضح تأثير عدد ممرات الأنابيب على كل من معامل انتقال الحرارة الإجمالي والاستطاعة الحرارية لمولد البخار في كلتا الحالتين (حالة الترتيب الخطي وحالة الترتيب الشطرنجي)، نلاحظ ارتفاع فعالية انتقال الحرارة بشكل تدريجي مع زيادة عدد ممرات الأنابيب.



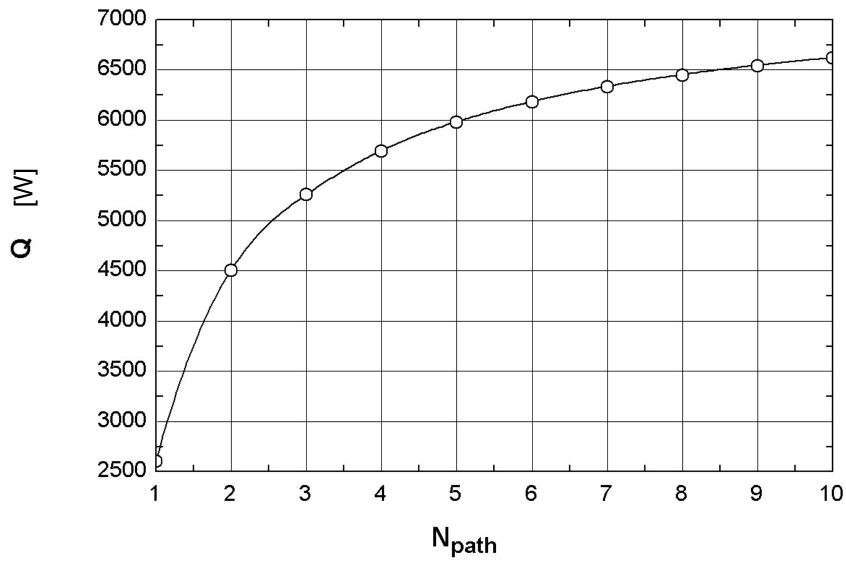
الشكل (٣١.٤): تأثير عدد ممرات الأنابيب على معامل انتقال الحرارة الاجمالي في الترتيب الخطي



الشكل (٣٢.٤): تأثير عدد ممرات الأنابيب على الاستطاعة الحرارية للمولد في الترتيب الخطي



الشكل (٤.٣٣): تأثير عدد ممرات الأنابيب على معامل انتقال الحرارة الاجمالي في الترتيب الشطرنجي

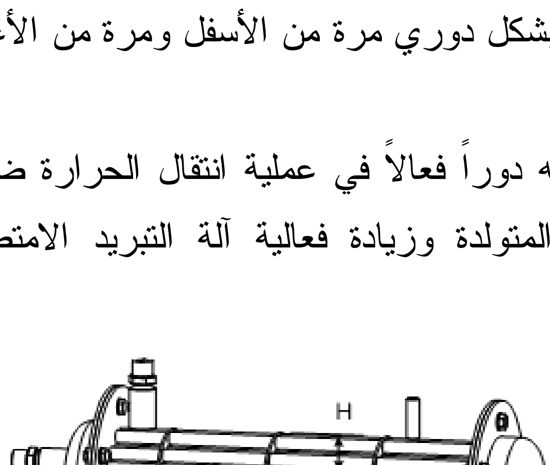


الشكل (٤.٣٤): تأثير عدد ممرات الأنابيب على الاستطاعة الحرارية للمولد في الترتيب الشطرنجي

٤.٢.٤. تأثير عدد صفائح التوجيه N_{Baffle}:

تتوزع على طول المولد في بعض الأحيان ما يسمى بصفائح التوجيه وهي عبارة عن أقراص مثقبة بحيث تقوم بتجميع الأنابيب وتثبيتها من جهة وتتحكم بمسار الجريان بحيث يصبح متعامداً مع الأنابيب من جهة أخرى وذلك من خلال اقتصاص نافذة منها لها ارتفاع محدد (يرمز له H_{Baffle}) بشكل دوري مرة من الأسفل ومرة من الأعلى.

يلعب عدد صفائح التوجيه دوراً فعالاً في عملية انتقال الحرارة ضمن مولد البخار وبالتالي في زيادة كمية البخار المتولدة وزيادة فعالية آلة التبريد الامتصاصية الشمسية (الشكل ٤.٣٥).



الشكل (٤.٣٥): توزيع صفائح التوجيه على طول المولد

لدراسة تأثير عدد صفائح التوجيه قمنا بإنشاء جداول لعدد متغير من ٣ صفائح وحتى ١٢ صفيحة ومن ثم تم الاعتماد على البرنامج في حساب كافة البرامترات المرافقة لتلك الأعداد وذلك في حالة الترتيب الخطي كما في الشكل (٤.٣٦) وفي الترتيب الشطرنجي كما في الشكل (٤.٣٧).

Parametric Table

S_H (aligned) | S_V (aligned) | N_path (aligned) | N_Baffle (aligned) | H_Baffle (aligned) | S_H (stagger

1..10	α_a	k	N_{Baffle}	$N_{u,a}$	Q
Run 1	2005	816.7	3	61.86	4376
Run 2	2143	838.7	4	66.1	4457
Run 3	2245	853.9	5	69.25	4512
Run 4	2320	864.6	6	71.59	4550
Run 5	2376	872.2	7	73.3	4577
Run 6	2416	877.5	8	74.52	4596
Run 7	2443	881.1	9	75.37	4608
Run 8	2460	883.3	10	75.91	4616
Run 9	2470	884.6	11	76.22	4621
Run 10	2475	885.2	12	76.35	4623

الشكل (٣٦.٤): جدول تأثير عدد صفائح التوجيه في المولد عند الترتيب الخطي

Parametric Table

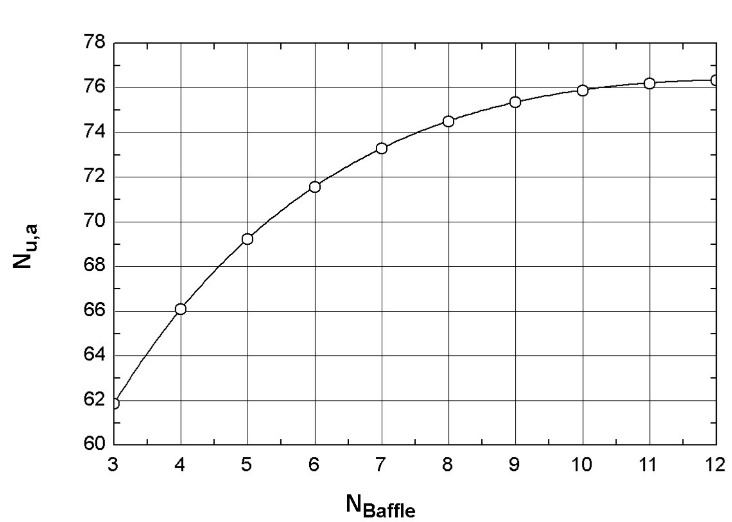
H_Baffle (aligned) | S_H (staggered) | S_V (staggered) | N_path (staggered) | N_Baffle (staggered) | H_

1..10	α_a	k	N_{Baffle}	$N_{u,a}$	Q
Run 1	1937	805.2	3	59.75	4333
Run 2	2070	827.3	4	63.85	4415
Run 3	2168	842.6	5	66.9	4471
Run 4	2241	853.4	6	69.15	4510
Run 5	2295	861.1	7	70.81	4537
Run 6	2333	866.4	8	71.99	4556
Run 7	2360	870	9	72.8	4569
Run 8	2377	872.3	10	73.33	4577
Run 9	2386	873.6	11	73.63	4582
Run 10	2390	874.2	12	73.75	4584

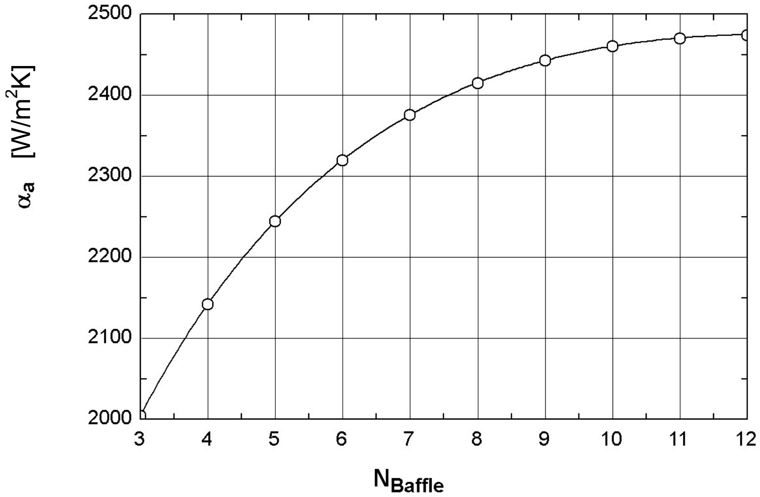
الشكل (٣٧.٤): جدول تأثير عدد صفائح التوجيه في المولد عند الترتيب الشطرنجي

الأشكال (٣٨.٤– ٣٩.٤ – ٤٠.٤ – ٤١.٤ – ٤٢.٤ – ٤٣.٤ – ٤٤.٤ – ٤٥.٤) توضح تأثير عدد صفائح التوجيه على كل من معامل الحمل الحراري الخارجي ورقم نوسلت

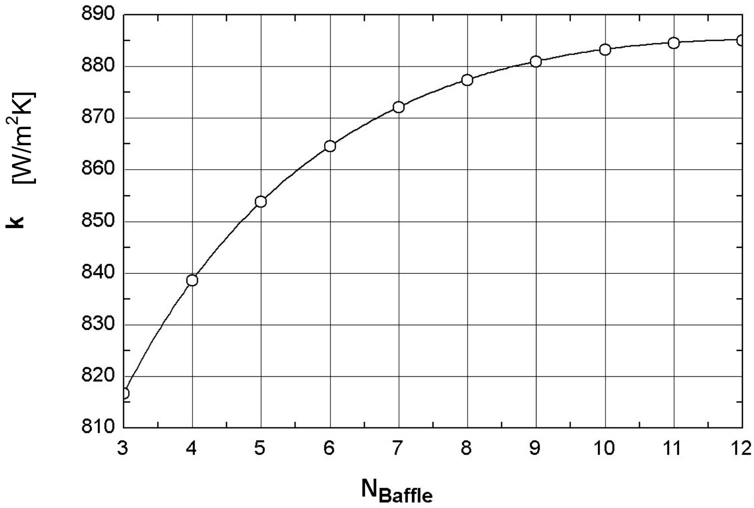
الخارجي ومعامل انتقال الحرارة الإجمالي والاستطاعة الحرارية لمولد البخار في كلتا الحالتين (حالة الترتيب الخطي وحالة الترتيب الشطرنجي)، نلاحظ ارتفاع فعالية انتقال الحرارة بشكل تدريجي مع زيادة عدد صفائح التوجيه.



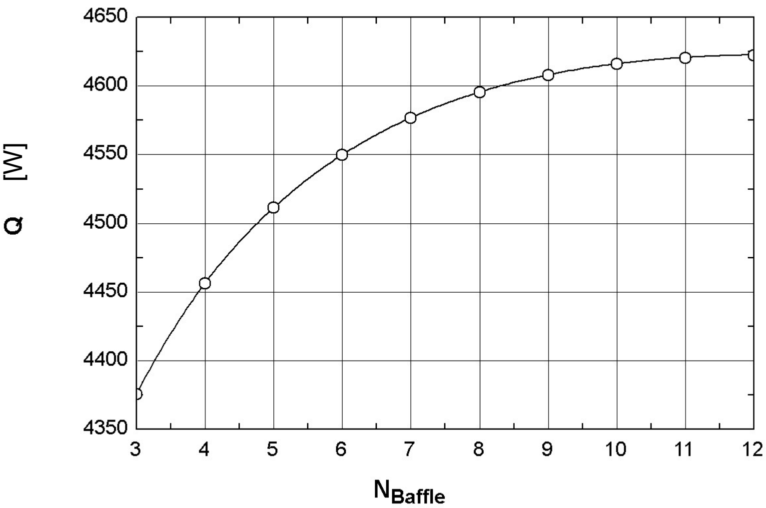
الشكل (٣٨.٤): تأثير عدد صفائح التوجيه على رقم نوسلت الخارجي في الترتيب الخطي



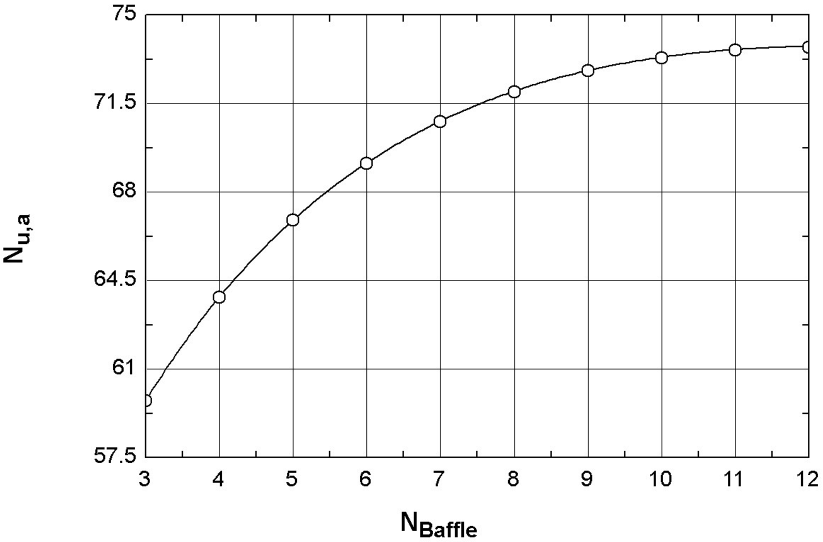
الشكل (٣٩.٤): تأثير عدد صفائح التوجيه على معامل الحمل الحراري الخارجي في الترتيب الخطي



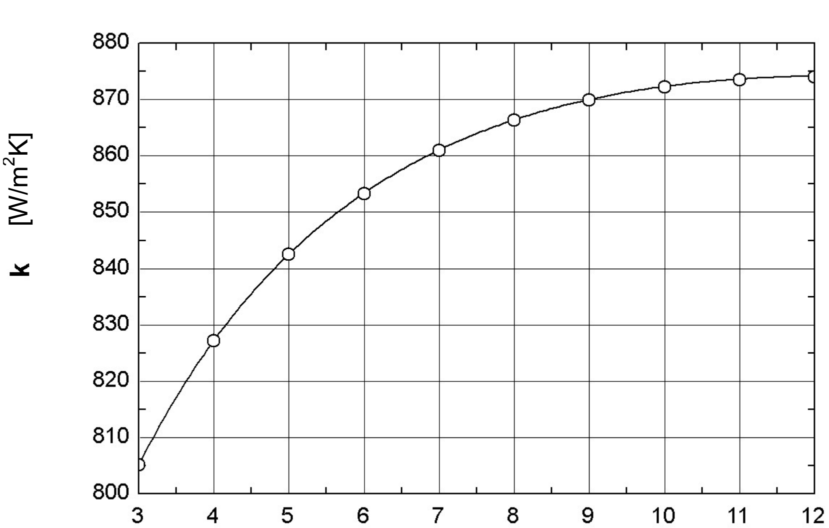
الشكل (٤٠.٤): تأثير عدد صفائح التوجيه على معامل انتقال الحرارة الاجمالي في الترتيب الخطي



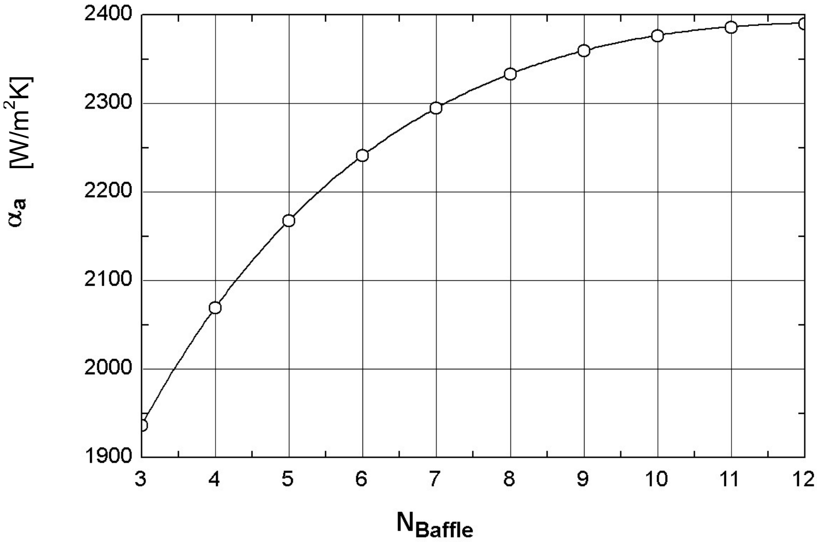
الشكل (٤١.٤): تأثير عدد صفائح التوجيه على الاستطاعة الحرارية للمولد في الترتيب الخطي



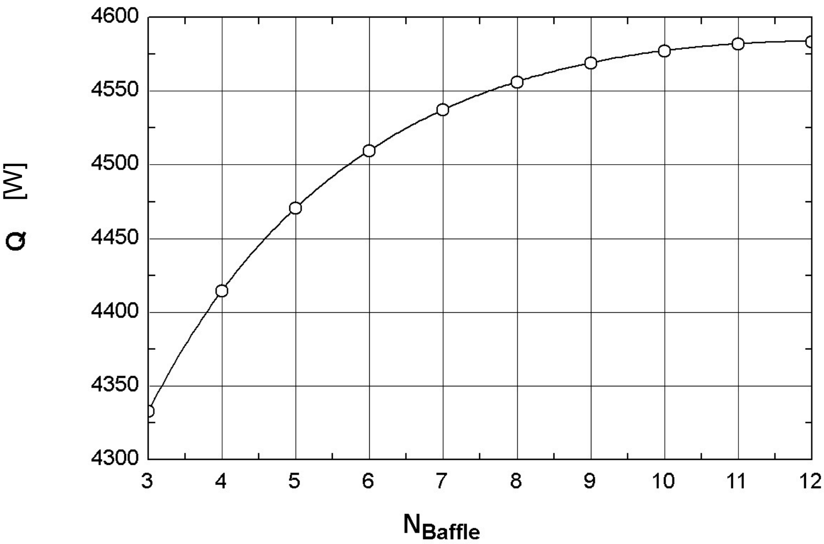
الشكل (٤٢.٤): تأثير عدد صفائح التوجيه على رقم نوسلت الخارجي في الترتيب الشطرنجي



الشكل (٤٣.٤): تأثير عدد صفائح التوجيه على معامل انتقال الحرارة الاجمالي في الترتيب الشطرنجي



الشكل (٤.٤٤): تأثير عدد صفائح التوجيه على معامل الحمل الحراري الخارجي في الترتيب الشطرنجي



الشكل (٤.٤٥): تأثير عدد صفائح التوجيه على الاستطاعة الحرارية للمولد في الترتيب الشطرنجي

٥.٢.٤. تأثير ارتفاع نوافذ صفائح التوجيه H_{Baffle}:

تتحكم صفيحة التوجيه بمسار الجريان بحيث يصبح متعامداً مع الأنابيب من خلال اقتصاص نافذة منها لها ارتفاع محدد (يرمز له H_{Baffle}) بشكل دوري مرة من الأسفل ومرة من الأعلى. يلعب ارتفاع النافذة دوراً فعالاً في عملية انتقال الحرارة ضمن مولد البخار وبالتالي في زيادة كمية البخار المتولدة وزيادة فعالية آلة التبريد الامتصاصية الشمسية.

لدراسة تأثير ارتفاع النافذة H_{Baffle} قمنا بإنشاء جداول بقيم متغيرة من (H_{Baffle} = 7 mm – H_{Baffle} = 70 mm) مع العلم أن قطر غلاف المولد (مجمع الأنابيب) هو 150 mm ومن ثم تم الاعتماد على البرنامج في حساب كافة البرامترات المرافقة لتلك التغييرات وذلك في حالة الترتيب الخطي كما في الشكل (٤٦.٤) وفي الترتيب الشطرنجي كما في الشكل (٤٧.٤).

Parametric Table

S_H (aligned) | S_V (aligned) | N_path (aligned) | N_Baffle (aligned) | H_Baffle (aligned) | S_H (stagger

1..10	α_a	H_{Baffle}	k	$N_{u,a}$	Q
Run 1	2278	7	858.7	70.28	4529
Run 2	2357	14	869.6	72.71	4568
Run 3	2376	21	872.2	73.31	4577
Run 4	2360	28	870.1	72.82	4570
Run 5	2320	35	864.6	71.59	4550
Run 6	2263	42	856.5	69.81	4521
Run 7	2193	49	846.2	67.64	4484
Run 8	2114	56	834.2	65.21	4440
Run 9	2030	63	820.9	62.63	4391
Run 10	1945	70	806.6	60.01	4338

الشكل (٤٦.٤): جدول تأثير ارتفاع نوافذ صفائح التوجيه في المولد عند الترتيب الخطي

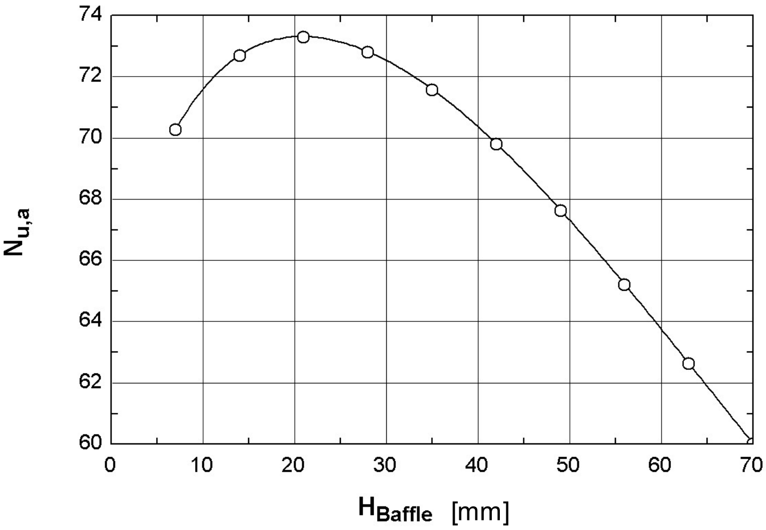
Parametric Table

S_V (staggered) | N_path (staggered) | N_Baffle (staggered) | H_Baffle (staggered) | material (aligned)

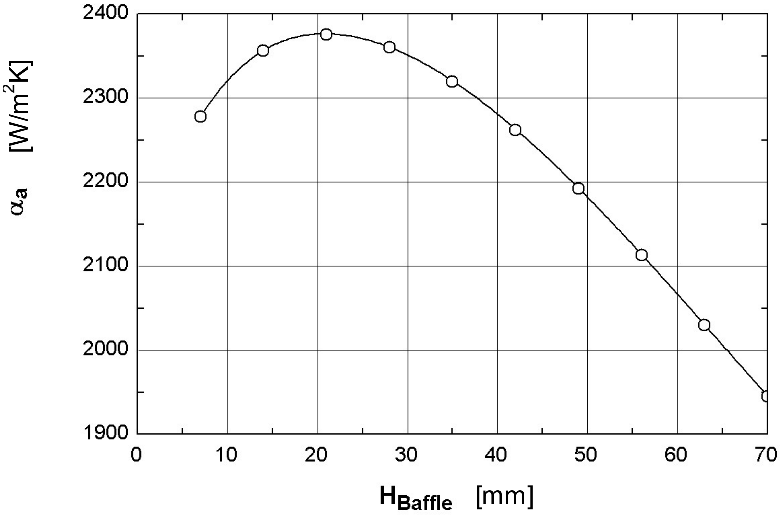
1..10	α_a	H_{Baffle}	k	$N_{u,a}$	Q
Run 1	2201	7	847.4	67.89	4488
Run 2	2277	14	858.5	70.24	4528
Run 3	2295	21	861.1	70.82	4538
Run 4	2280	28	859	70.35	4530
Run 5	2241	35	853.4	69.15	4510
Run 6	2186	42	845.2	67.44	4480
Run 7	2118	49	834.9	65.34	4443
Run 8	2042	56	822.8	63	4398
Run 9	1961	63	809.4	60.5	4349
Run 10	1879	70	795	57.97	4295

الشكل (٤٧.٤): جدول تأثير ارتفاع نوافذ صفائح التوجيه في المولد عند الترتيب الشطرنجي

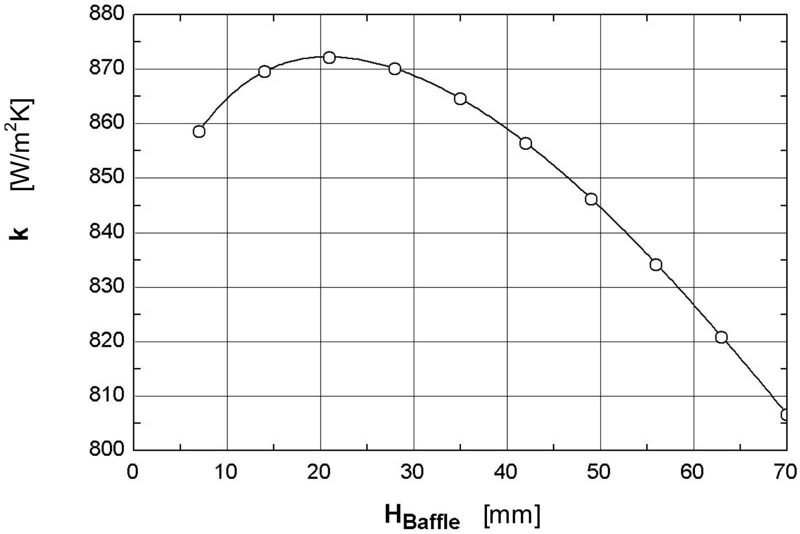
الأشكال (٤٨.٤– ٤٩.٤ – ٥٠.٤ – ٥١.٤ – ٥٢.٤ – ٥٣.٤ – ٥٤.٤ – ٥٥.٤) توضح تأثير ارتفاع نوافذ صفائح التوجيه على كل من معامل الحمل الحراري الخارجي ورقم نوسلت الخارجي ومعامل انتقال الحرارة الإجمالي والاستطاعة الحرارية لمولد البخار في كلتا الحالتين (حالة الترتيب الخطي وحالة الترتيب الشطرنجي)، نلاحظ ارتفاع فعالية انتقال الحرارة بشكل تدريجي مع زيادة عدد ارتفاع النوافذ حتى القيمة $H_{Baffle} = 21$ mm التي تشكل الذروة وبعدها تنخفض كفاءة التبادل الحراري.



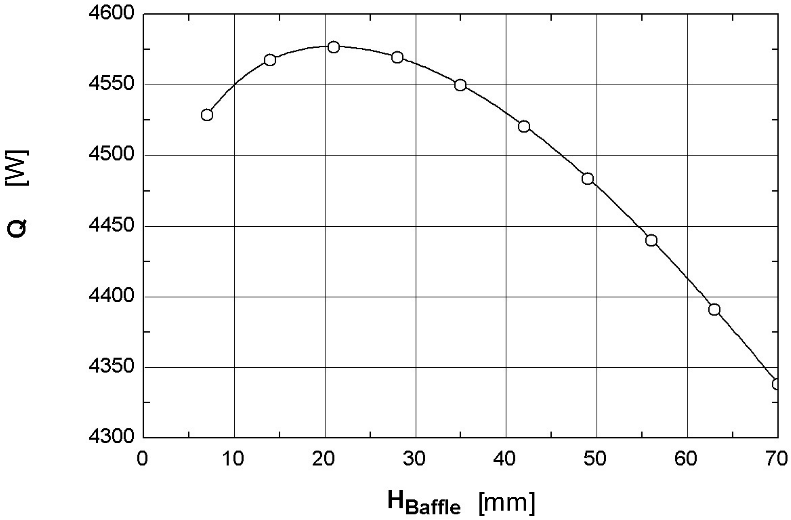
الشكل (٤٨.٤): تأثير ارتفاع نوافذ صفائح التوجيه على رقم نوسلت الخارجي في الترتيب الخطي



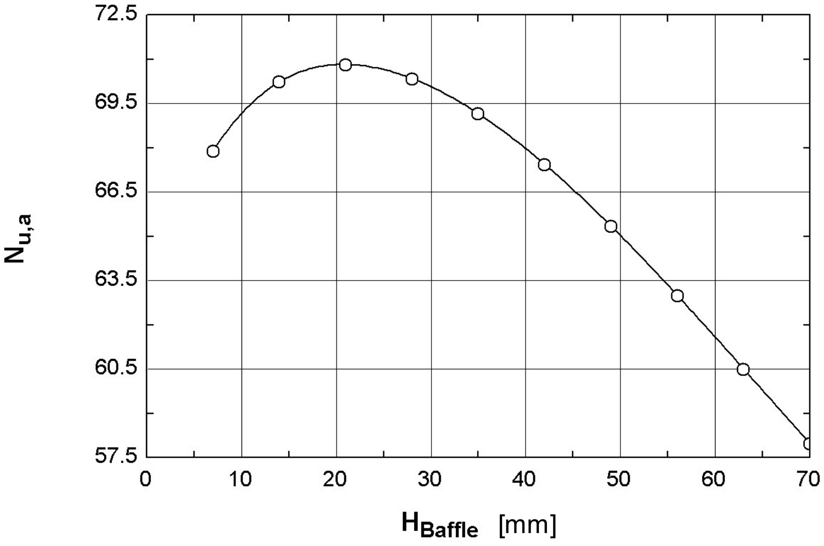
الشكل (٤٩.٤): تأثير ارتفاع نوافذ صفائح التوجيه على معامل الحمل الحراري الخارجي في الترتيب الخطي



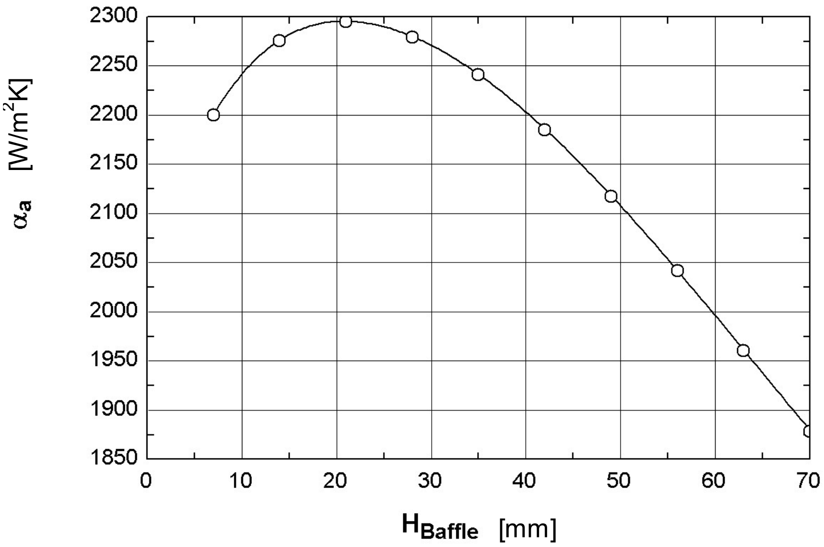
الشكل (٥٠.٤): تأثير ارتفاع نوافذ صفائح التوجيه على معامل انتقال الحرارة الاجمالي في الترتيب الخطي



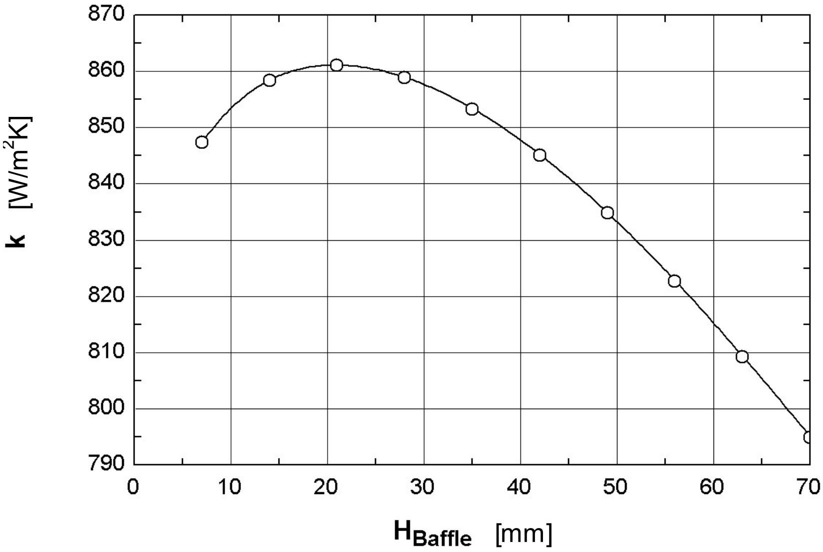
الشكل (٥١.٤): تأثير ارتفاع نوافذ صفائح التوجيه على الاستطاعة الحرارية للمولد في الترتيب الخطي



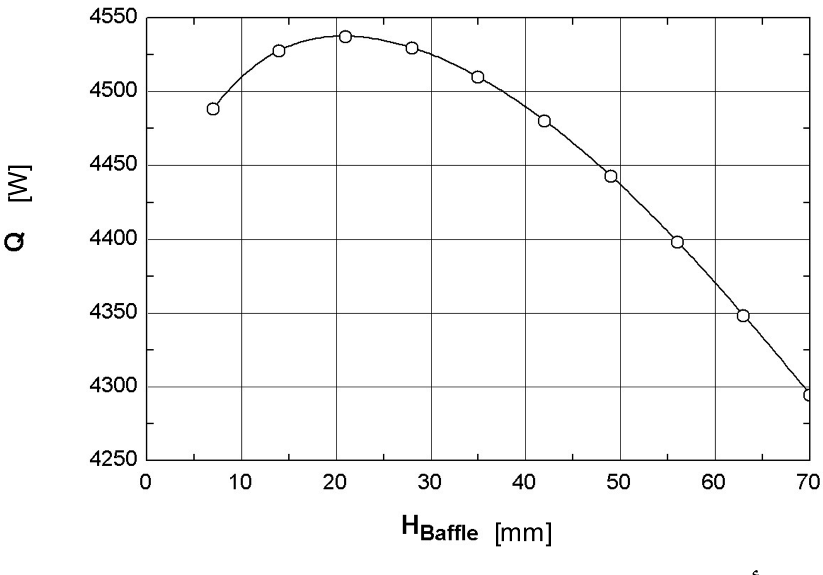
الشكل (٥٢.٤): تأثير ارتفاع نوافذ صفائح التوجيه على رقم نوسلت الخارجي في الترتيب الشطرنجي



الشكل (٥٣.٤): تأثير ارتفاع نوافذ صفائح التوجيه على معامل الحمل الخارجي في الترتيب الشطرنجي



الشكل (٥٤.٤): تأثير ارتفاع نوافذ صفائح التوجيه على معامل انتقال الحرارة الاجمالي في الترتيب الشطرنجي



الشكل (٥٥.٤): تأثير ارتفاع نوافذ صفائح التوجيه على الاستطاعة الحرارية للمولد في الترتيب الشطرنجي

٦.٢.٤. تأثير مادة صنع الأنابيب:

كما هو معروف تلعب مواد صنع المولدات بسبب اختلاف معامل الاتصالية الحرارية دوراً فعالاً في عملية انتقال الحرارة ضمن مولد البخار لها وبالتالي في زيادة كمية البخار المتولدة وزيادة فعالية آلة التبريد الامتصاصية الشمسية. لدراسة تأثير مادة الأنابيب نأخذ أربع عينات (المنيوم، نحاس، حديد، نيكل) على سبيل والمثال كما في الجدول (٥٦.٤).

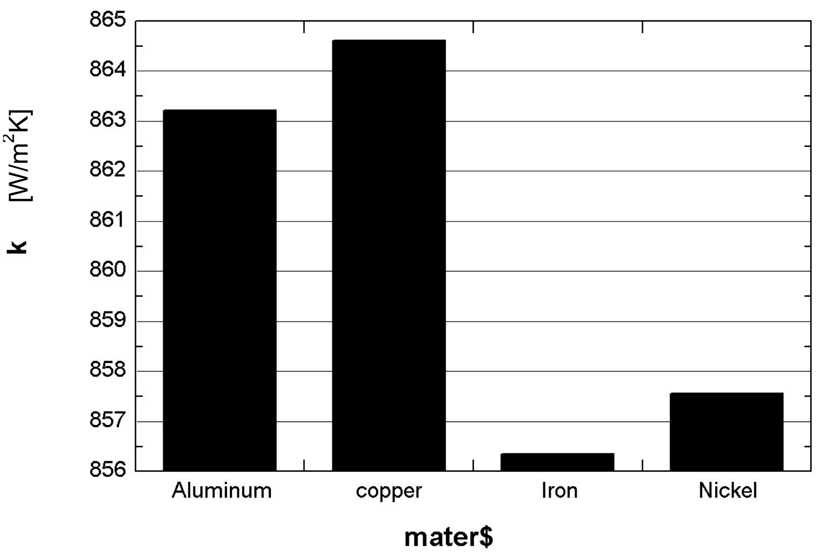
Parametric Table

S_V (staggered) | N_path (staggered) | N_Baffle (staggered) | H_Baffle (staggered) | material (aligned)

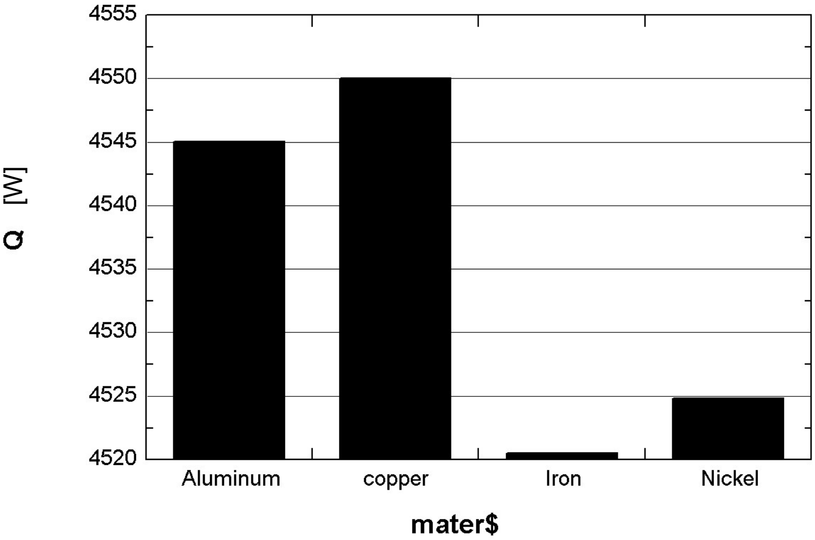
1..4	1 α_a	2 k	3 mater$	4 $N_{u,a}$	5 Q
Run 1	2320	863.2	Aluminum	71.59	4545
Run 2	2320	864.6	copper	71.59	4550
Run 3	2320	856.4	Iron	71.59	4521
Run 4	2320	857.6	Nickel	71.59	4525

الشكل (٥٦.٤): جدول تأثير مواد صنع الأنابيب

الأشكال (٥٧.٤ – ٥٨.٤) تثبت الحقائق المعروفة مسبقاً بأن النحاس يعطي أفضل النتائج.



الشكل (٥٧.٤): تأثير مادة صنع الأنابيب على معامل انتقال الحرارة الاجمالي



الشكل (٤.٥٨): تأثير مادة صنع الأنابيب على الاستطاعة الحرارية للمولد

الفصل الخامس

نمذجة ومحاكاة دارة التبريد الامتصاصية

١.٥ إنشاء النموذج البرمجي:

بتشغيل البرنامج EES واختيار أمر New من قائمة ملف، تظهر نافذة المعادلات فارغة قبل إدخال المعادلات. نقوم بعد ذلك بكتابة الكود التالي وذلك اعتماداً على معادلات توازن الطاقة والكتلة الواردة في الفصل الثاني:

```
"t_c=32"
t_a=t_c
t_e=5
t_g=75
p_c=PRESSURE(Steam,T=t_c, x=0)
p_e=PRESSURE(Steam,T=t_e , x=0)
x_r=X_LIBR( 'SI',t_a,p_e)
x_a=X_LIBR('SI',t_g,p_c)

"point1"
h_1=H_LIBR('SI',p_e,x_r)

"point2"
h_2=h_1
```

```
"point3"
h_3=h_2+m_dot_a*(h_8-h_9)/m_dot_r

"point4 "
h_4=ENTHALPY(Steam,T=T_g,p=p_c)

"point5 "
h_5=ENTHALPY(Steam,T=t_c,x=0)

"point6"
h_6=h_5

"point7"
h_7=ENTHALPY(Steam,T=t_e,x=1)

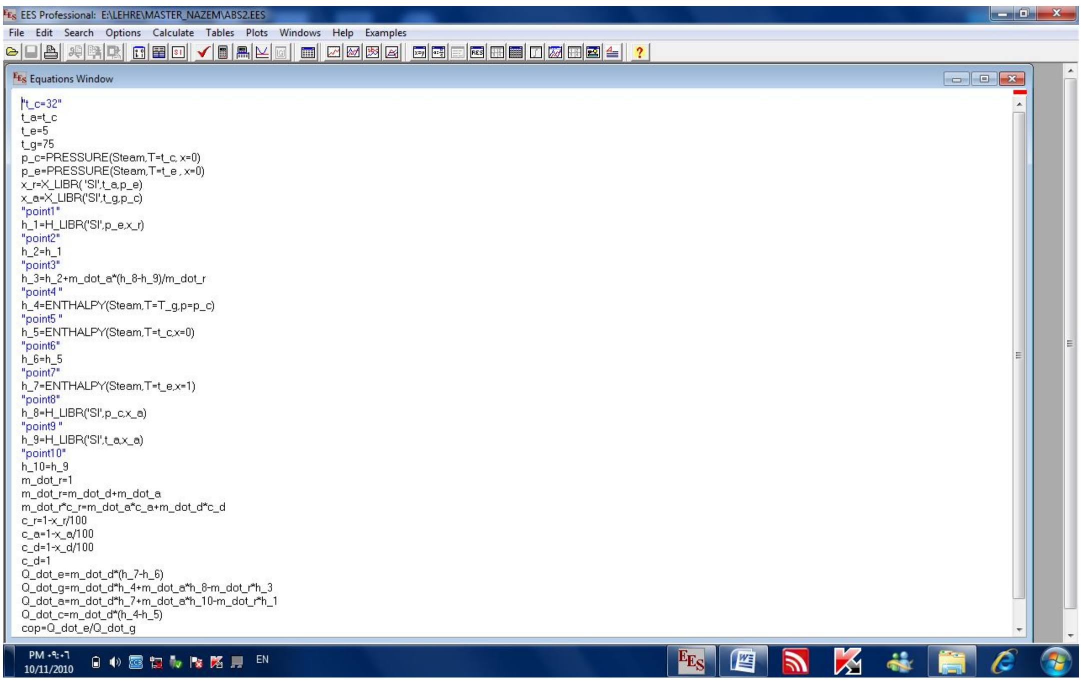
"point8"
h_8=H_LIBR('SI',p_c,x_a)

"point9 "
h_9=H_LIBR('SI',t_a,x_a)

"point10"
h_10=h_9
m_dot_r=1
m_dot_r=m_dot_d+m_dot_a
m_dot_r*c_r=m_dot_a*c_a+m_dot_d*c_d
```

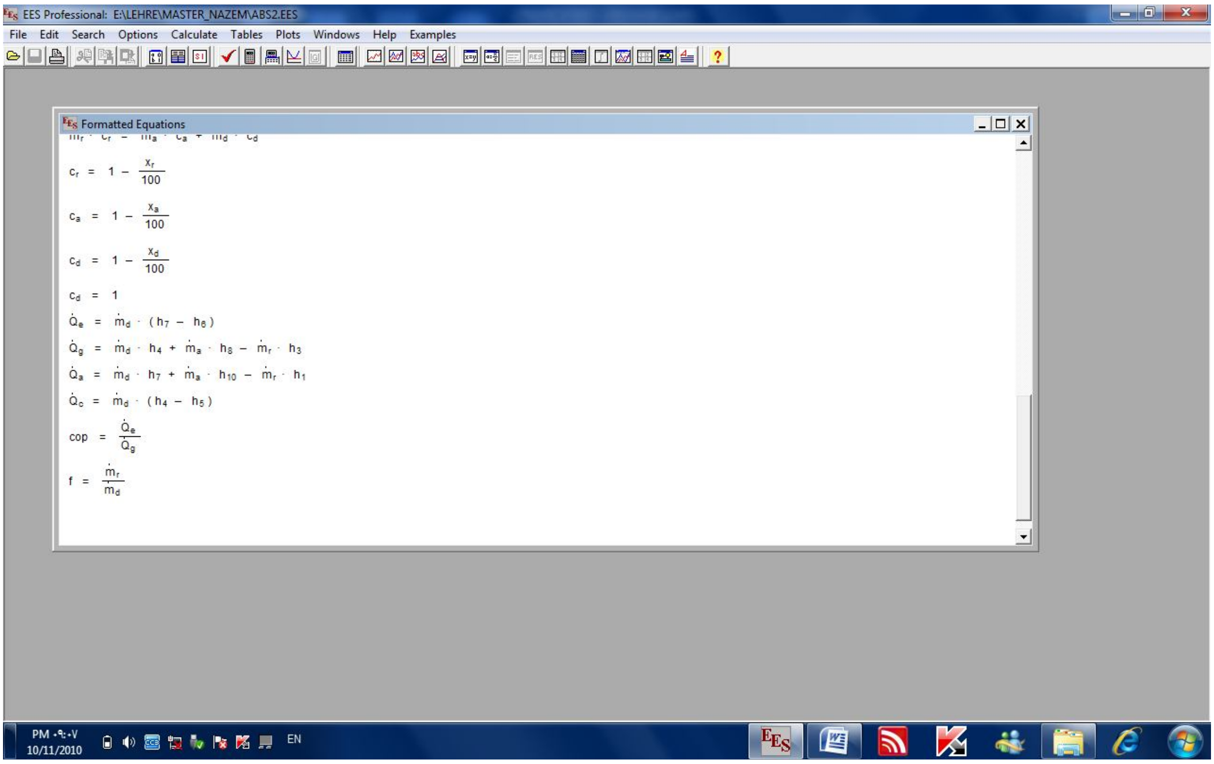
```
c_r=1−x_r/100
c_a=1−x_a/100
c_d=1−x_d/100
c_d=1
Q_dot_e=m_dot_d*(h_7−h_6)
Q_dot_g=m_dot_d*h_4+m_dot_a*h_8−m_dot_r*h_3
Q_dot_a=m_dot_d*h_7+m_dot_a*h_10−m_dot_r*h_1
Q_dot_c=m_dot_d*(h_4−h_5)
cop=Q_dot_e/Q_dot_g
f=m_dot_r/m_dot_d
```

بعد إدخال المعادلات والتدقيق بواسطة أمر Check/Format من قائمة Calculate يظهر البرنامج بعد كتابته على النافذة بالشكل (١.٥):



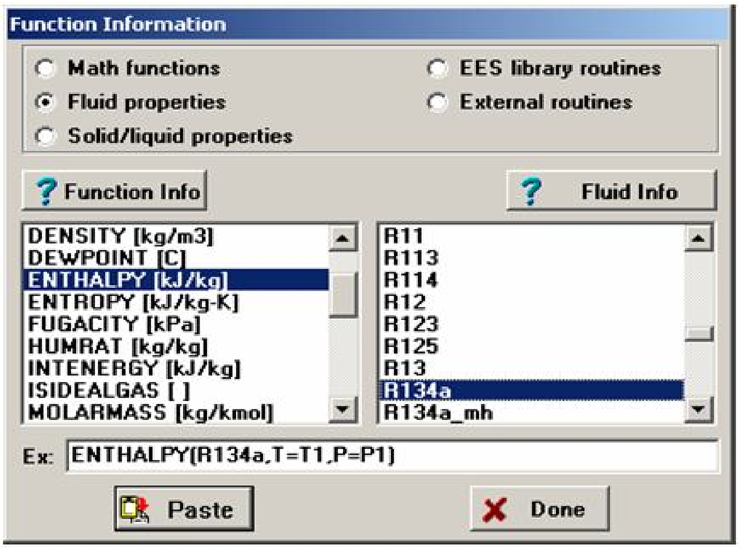
الشكل (١.٥): نافذة كتابة المعادلات لدارة التبريد الامتصاصية

للتأكد من الشكل النهائي للمعادلات نضغط Formated Equation من قائمة Windows فتظهر المعادلات بشكلها المنسق (الشكل ٢.٥):



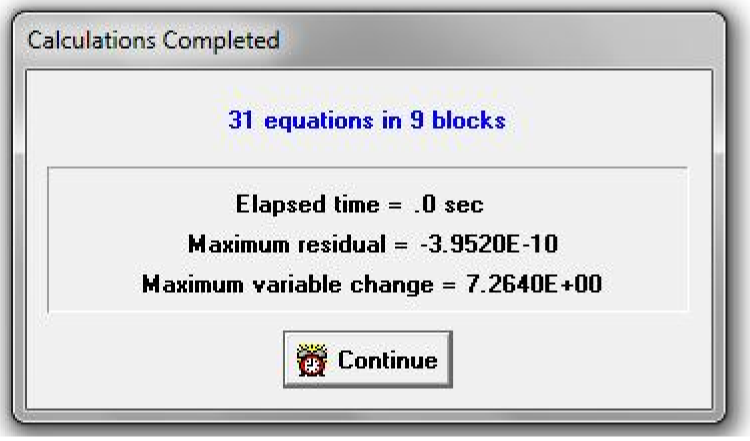
الشكل (٢.٥): برنامج الدارة الامتصاصية بالشكل المنسق

لإيجاد الخواص الترموديناميكية مثل الانتالبي والانتروبي نستخدم أمر Function Information من قائمة Option فيعرض مربع حوار كما هو مبين في الشكل (٣.٥):



الشكل (٣.٥): نافذة إدخال الخواص الترموديناميكية والفيزيائية لوسائط العمل

لحل جملة المعادلات نختار أمر Solve من قائمة Calculate ستظهر نافذة الحوار في إشارة إلى تقدم عملية الحل وعندما تكتمل الحسابات يتغير الزر من إلغاء إلى متابعة كما في الشكل (٤.٥):



الشكل (٤.٥): نافذة إتمام الحل

بالنقر على زر المتابعة يتم عرض حل هذه المجموعة من المعادلات (الشكل ٥.٥) أي عرض قيم كافة البرامترات (الانتالبي، التدفقات، كميات الحرارة المتبادلة، الضغوط، درجات الحرارة، التراكيز، معامل الأداء، معامل التدوير....) وذلك عند شروط حدية مختلفة.

Solution

Main

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

cop = 0.7265	c_a = 0.422	c_d = 1
c_r = 0.4919	f = 8.264	h_1 = -0.7432
h_{10} = 88.87 [kJ/kg]	h_2 = -0.7432	h_3 = -48.37
h_4 = 2631	h_5 = 134 [kJ/kg]	h_6 = 134 [kJ/kg]
h_7 = 2519 [kJ/kg]	h_8 = 34.69 [kJ/kg]	h_9 = 88.87 [kJ/kg]
$\dot{m}_a$ = 0.879	$\dot{m}_d$ = 0.121	$\dot{m}_r$ = 1
p_c = 4.758	p_e = 1.228	$\dot{Q}_a$ = 383.7
$\dot{Q}_c$ = 302.1	$\dot{Q}_e$ = 288.6	$\dot{Q}_g$ = 397.2
t_a = 32 [C]	t_c = 32 [C]	t_e = 10 [C]
t_g = 70 [C]	x_a = 57.8	x_d = 8.674E-19
x_r = 50.81		

Calculation time = .0 sec

الشكل (٥.٥): نافذة حلول برنامج الدارة الامتصاصية

٢.٥ . تأثير درجة حرارة المكثف:

لدراسة تأثير درجة حرارة المكثف على أداء الدارة الامتصاصية قمنا بإنشاء جدول من أجل قيم متغيرة لدرجة حرارة المكثف (تتراوح بين $18-36$ °C) وقيم ثابتة لكل من درجات حرارة المولد والمبخر ثم تم حساب باقي البرامترات الموافقة لتلك الدرجات عن طريق البرنامج. الشكل (٦.٥) يظهر النتائج التي تربط بين البرامترات المختلفة ضمن جدول.

Parametric Table

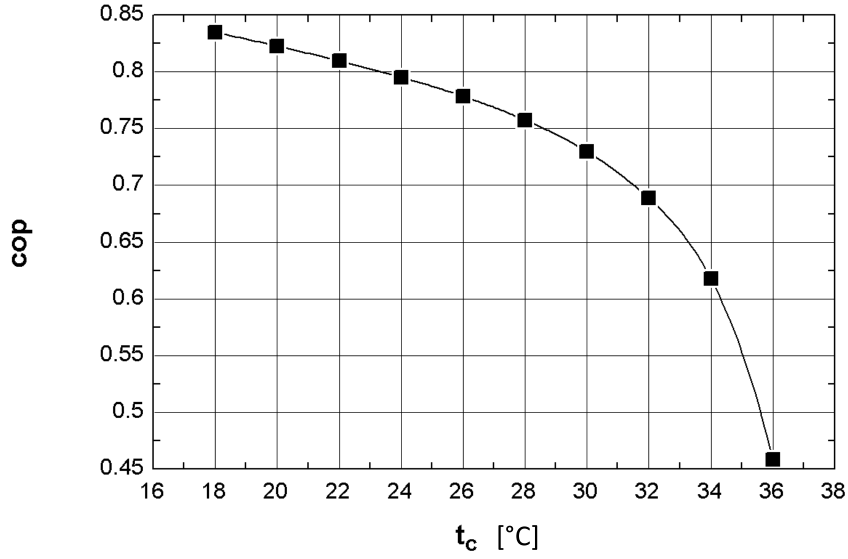
T_C | T_G | T_E

1..10	t_c	p_c	$\dot{Q}_a$	$\dot{Q}_c$	$\dot{Q}_e$	$\dot{Q}_g$	x_a	x_r	f	cop
Run 1	18	2.064	936.7	862.7	818.7	980.8	67.55	44.83	2.973	0.8347
Run 2	20	2.339	848.9	770.2	730.8	888.3	66.46	46.44	3.32	0.8226
Run 3	22	2.645	763.6	681.6	646.6	798.6	65.39	47.9	3.739	0.8097
Run 4	24	2.985	679	595	564.4	709.7	64.33	49.26	4.269	0.7953
Run 5	26	3.363	594.7	509.7	483.4	621	63.28	50.54	4.967	0.7784
Run 6	28	3.782	509.3	424.5	402.5	531.3	62.23	51.76	5.944	0.7575
Run 7	30	4.246	423.3	339.3	321.7	440.9	61.19	52.93	7.41	0.7297
Run 8	32	4.758	335.3	253.1	239.9	348.5	60.13	54.06	9.903	0.6884
Run 9	34	5.323	245.1	165.3	156.7	253.7	59.07	55.16	15.11	0.6176
Run 10	36	5.945	152.3	75.54	71.58	156.2	57.99	56.23	32.95	0.4582

الشكل (٦.٥): جدول تأثير درجة حرارة المكثف

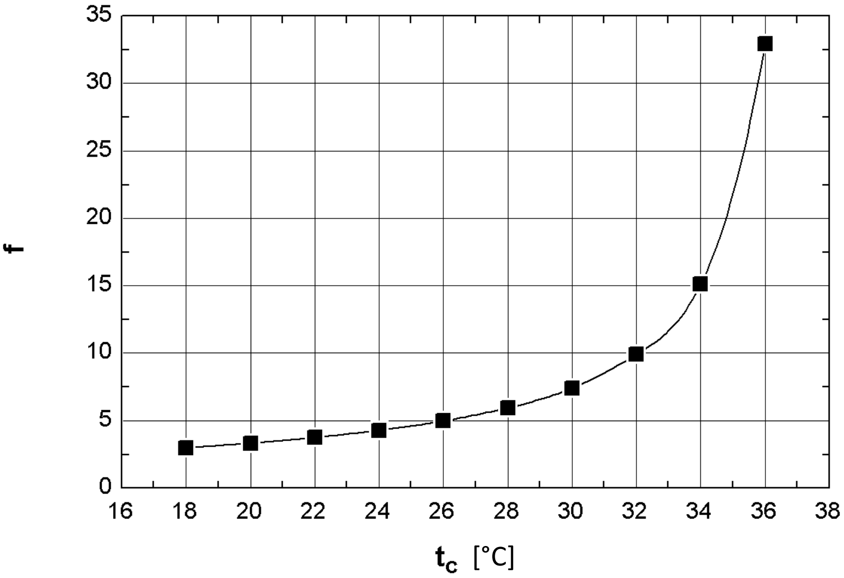
ثم نقوم برسم المنحنيات باختيارNew Plot Window من قائمة Plot .

يظهر المخطط (٧.٥) تأثير درجة حرارة المكثف على معامل الأداء، حيث نلاحظ أنه كلما زادت درجة حرارة المكثف كلما انخفض معامل الأداء COP حيث كانت قيمة COP = 0,85 عند درجة حرارة تكثيف منخفضة $T_c = 18°C$ ، أما من أجل درجة حرارة تكثيف مرتفعة $T_c = 36°C$ فإن COP تنخفض إلى 0,45 أي بحدود % 40.



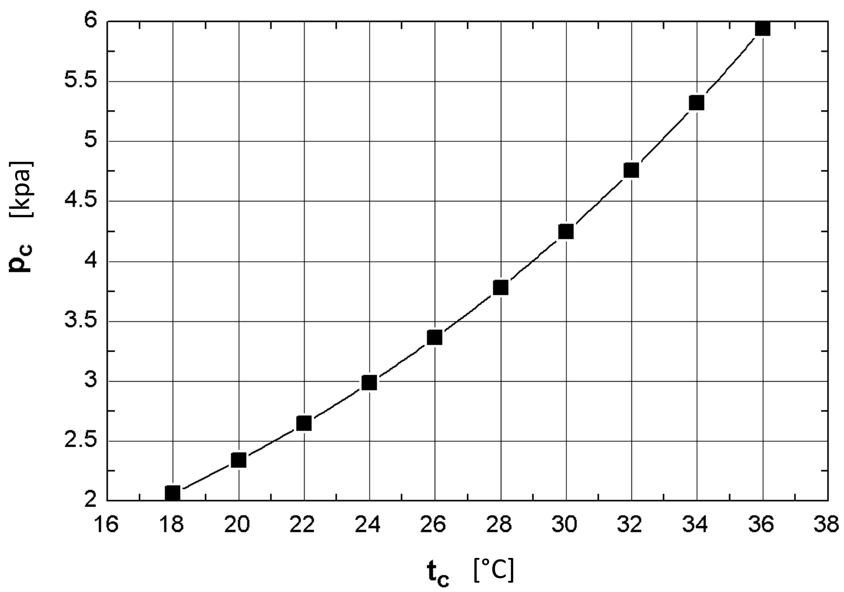
الشكل (٧.٥): تأثير درجة حرارة المكثف على أداء الدارة

الشكل (٨.٥) يظهر تأثير حرارة المكثف على معامل التدوير f ، ونلاحظ أنه بازدياد درجة حرارة التكثيف من 18–36 °C تزداد قيمة معامل التدوير والذي يعرف بأنه نسبة كمية المحلول الغني الى كمية وسيط التبريد، وهذا يعني الحاجة الى ضخ كميات كبيرة من المادة الماصة (بروميد الليثيوم) من الماص الى المولد لتشغيل آلة التبريد الامتصاصية.



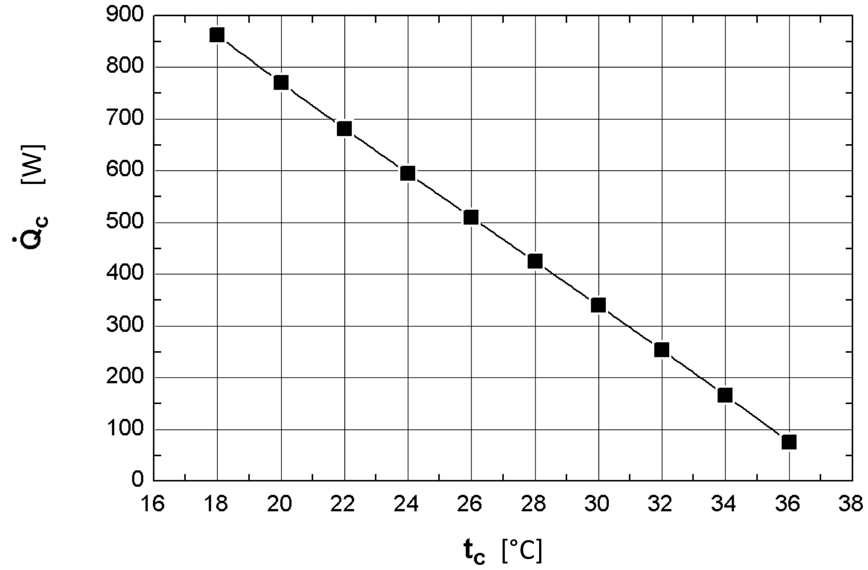
الشكل (٨.٥): تأثير درجة حرارة المكثف على معامل التدوير

أما الشكل (٥.٩) فيظهر العلاقة بين درجة حرارة المكثف وضغطه ونلاحظ أنه بزيادة درجة حرارة المكثف يزداد ضغطه وهذا يتطلب تشغيل المولد عند نفس الضغط.



الشكل (٩.٥): تأثير درجة حرارة المكثف على ضغط التكثيف

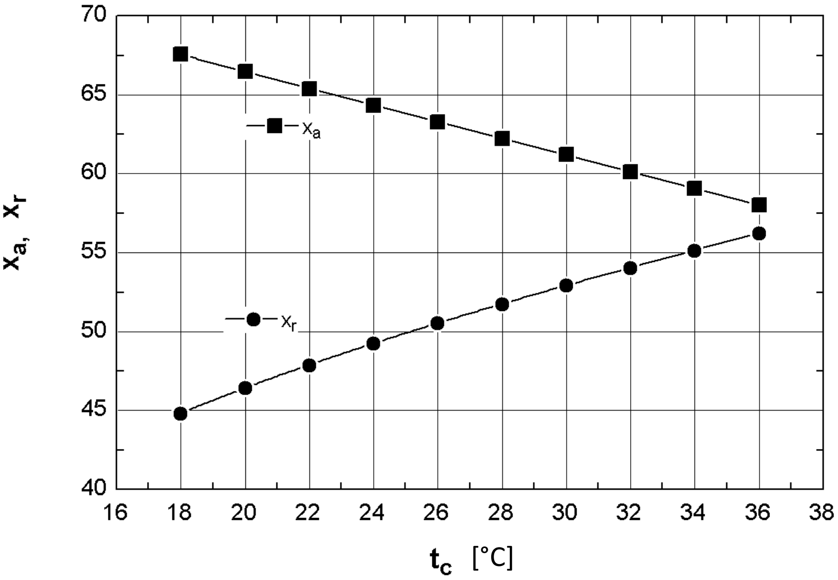
الشكل (١٠.٥) يظهر العلاقة بين درجة حرارة المكثف واستطاعة التكثيف، والعلاقة هنا عكسية أي بزيادة درجة حرارة التكثيف من 18–36 °C ينخفض معدل الحرارة المطروحة من المكثف إلى الوسط الخارجي والذي يؤثر بدوره سلباً على عمل الآلة.



الشكل (١٠.٥): تأثير درجة حرارة المكثف على استطاعة المكثف

الشكل (١١.٥) يبين تأثير درجة حرارة التكثيف على تركيز كل من المحلول الغني والمحلول الفقير، حيث يعبر Xa عن نسبة المادة الماصة الموجودة في المحلول الفقير (المحلول العائد من المولد إلى الماص) وتعبر Xr عن نسبة المادة الماصة الموجودة في المحلول الغني (المحلول الساري من الماص إلى المولد). أما الفرق بينهما فيسمى بعرض حزمة التبخير وهو مؤشر على فعالية الآلة فكلما كان عرض حزمة التبخير كبيراً كلما ازدادت كمية بخار وسيط التبريد المنفصلة عن المحلول الثنائي في المولد وكلما كان أداء الدارة أفضل. تتوقف الآلة عن العمل عندما ينعدم عرض حزمة التبخير.

من الشكل يتضح انخفاض عرض حزمة التبخير مع ازدياد درجة حرارة المكثف من 18–36 °C.



الشكل (١١.٥): تأثير درجة حرارة المكثف على تركيز المحلول الغني والفقير

٣.٥ تأثير درجة حرارة المبخر:

لدراسة تأثير درجة حرارة المبخر على أداء الدارة الامتصاصية قمنا بإنشاء جدول من أجل قيم متغيرة لدرجة حرارة المبخر (تتراوح بين 4–13 °C) وقيم ثابتة لكل من درجات حرارة المولد والمكثف ثم تم حساب باقي البرامترات الموافقة لتلك الدرجات عن طريق البرنامج. الشكل (١٢.٥) يظهر النتائج التي تربط بين البرامترات المختلفة ضمن جدول.

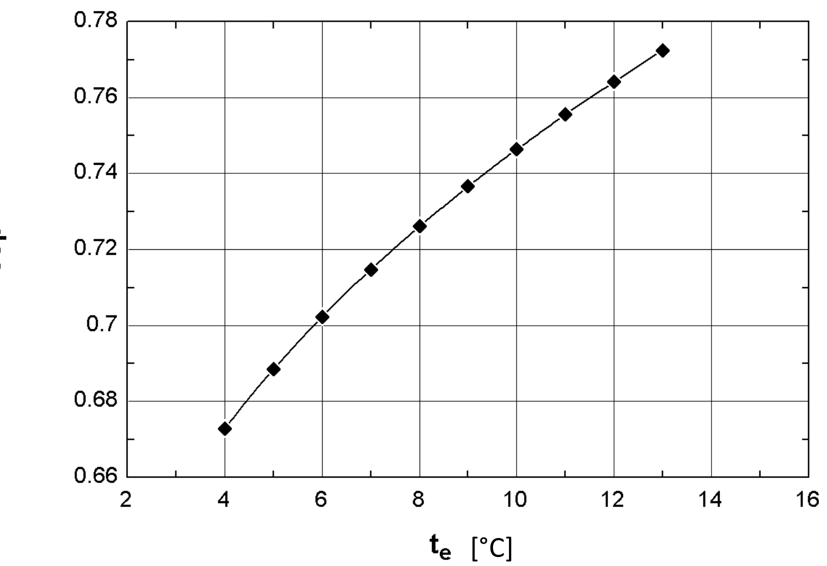
Parametric Table

T_C | T_G | T_E

1..10	t_e	p_e	$\dot{Q}_a$	$\dot{Q}_c$	$\dot{Q}_e$	$\dot{Q}_g$	x_a	x_r	f	cop
Run 1	4	0.8136	307.6	227	215	319.6	60.13	54.69	11.04	0.6728
Run 2	5	0.8726	335.3	253.1	239.9	348.5	60.13	54.06	9.903	0.6884
Run 3	6	0.9354	363	279.4	265	377.4	60.13	53.43	8.971	0.7023
Run 4	7	1.002	391	306	290.5	406.5	60.13	52.79	8.19	0.7147
Run 5	8	1.073	419.2	333	316.4	435.8	60.13	52.14	7.526	0.7261
Run 6	9	1.148	447.9	360.7	342.9	465.6	60.13	51.48	6.949	0.7366
Run 7	10	1.228	476.8	388.7	369.9	495.6	60.13	50.81	6.448	0.7463
Run 8	11	1.313	506	417.2	397.3	525.9	60.13	50.12	6.007	0.7555
Run 9	12	1.403	535.8	446.4	425.4	556.7	60.13	49.42	5.614	0.7642
Run 10	13	1.498	566	476.2	454.2	588	60.13	48.71	5.263	0.7724

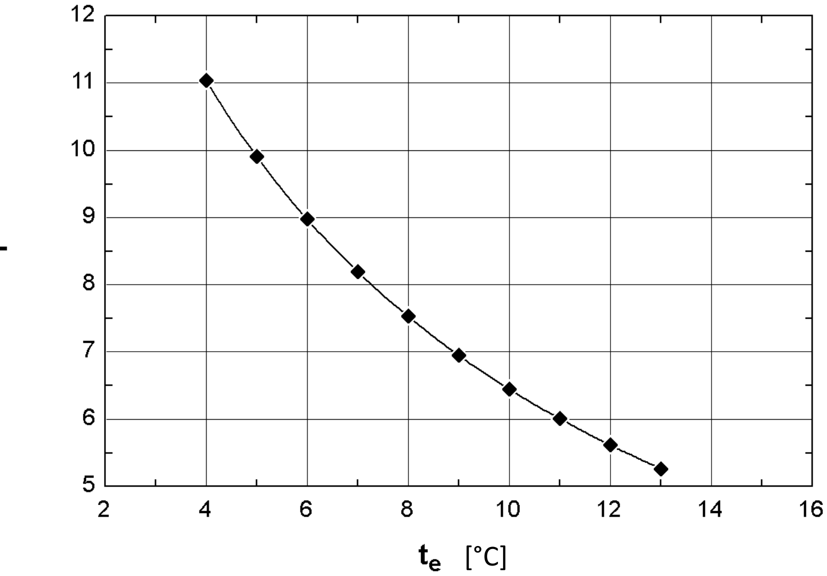
الشكل (١٢.٥): جدول تأثير درجة حرارة المبخر

يظهر المخطط (١٣.٥) تأثير درجة حرارة المبخر على معامل الأداء، حيث نلاحظ أنه كلما زادت درجة حرارة المبخر كلما ازداد معامل الأداء COP حيث كانت قيمة COP = 0,67 عند درجة حرارة تبخير منخفضة $T_E = 4°C$ ، أما من أجل درجة حرارة تبخير مرتفعة $T_E = 13°C$ فإن COP تزداد إلى 0,77 أي بحدود % 10.



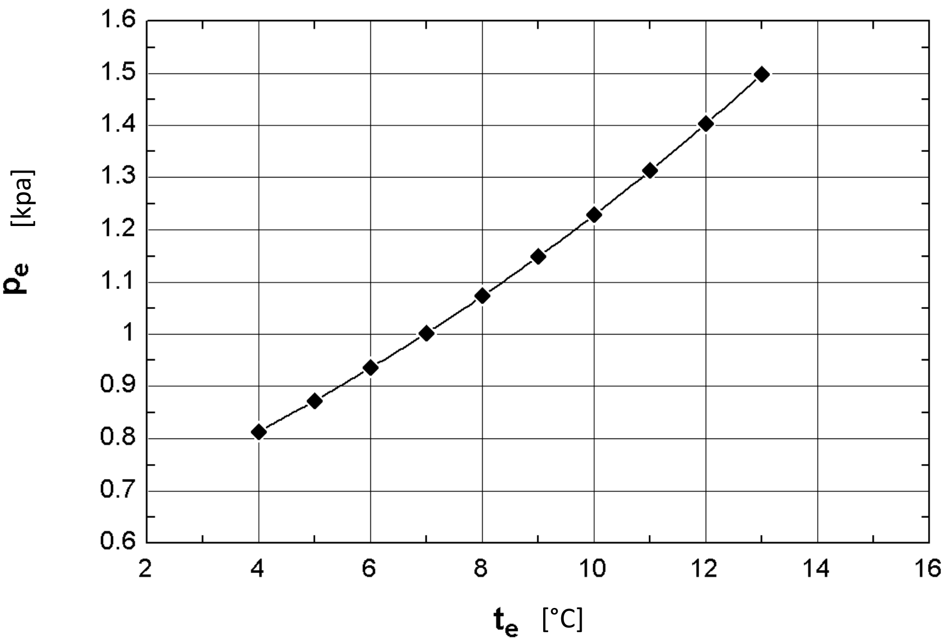
الشكل (١٣.٥): تأثير درجة حرارة المبخر على أداء الدارة

الشكل (١٤.٥) يظهر تأثير حرارة المبخر على معامل التدوير f ، ونلاحظ أنه بازدياد درجة حرارة المبخر من 4–13 °C تنخفض قيمة معامل التدوير، وهذا يعني الحاجة الى ضخ كميات كبيرة من المادة الماصة (بروميد الليثيوم) من الماص الى المولد لتشغيل آلة التبريد الامتصاصية عند درجات التبريد المنخفضة.



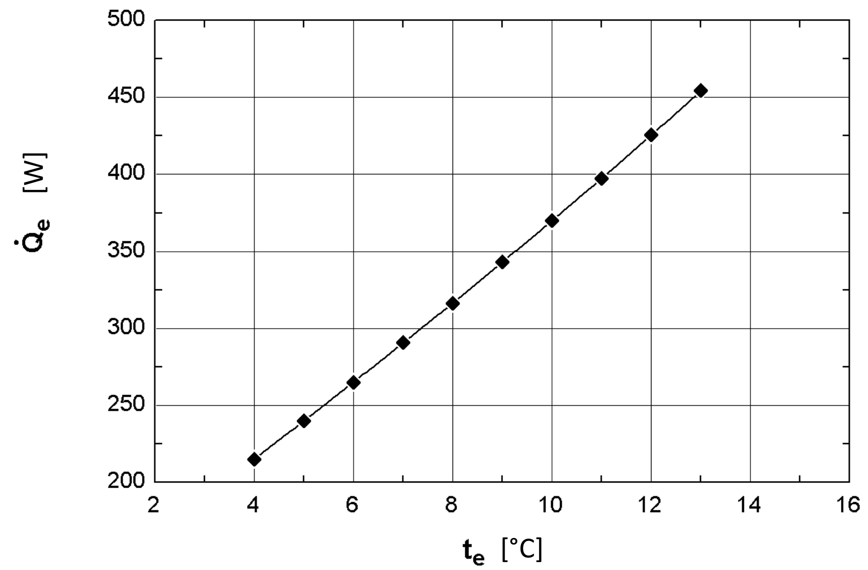
الشكل (١٤.٥): تأثير درجة حرارة المبخر على معامل التدوير

أما الشكل (١٥.٥) فيظهر العلاقة بين درجة حرارة المبخر وضغطه ونلاحظ أنه بزيادة درجة حرارة المبخر يزداد ضغط أبخرة وسيط التبريد وهذا يتطلب تشغيل الماص عند نفس الضغط.



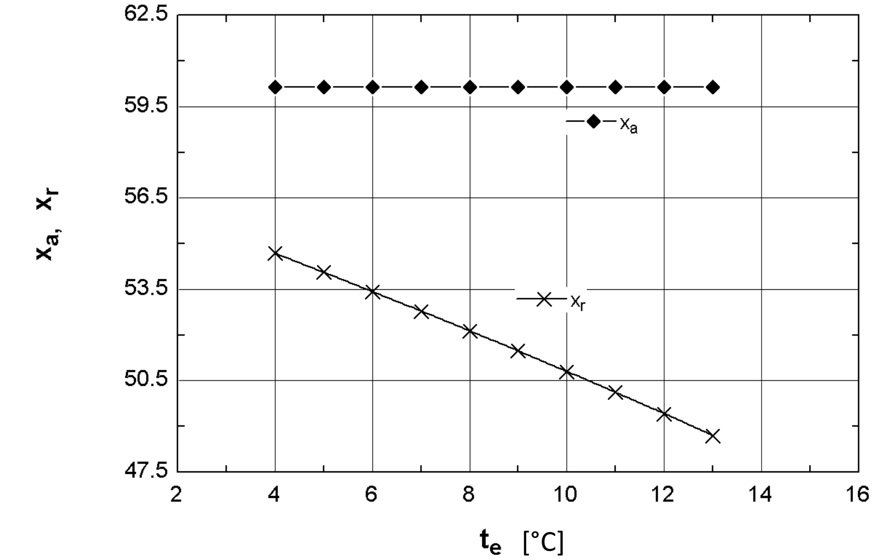
الشكل (١٥.٥): تأثير درجة حرارة المبخر على ضغط التبخير

الشكل (١٦.٥) يظهر العلاقة بين درجة حرارة المبخر واستطاعة التبريد، والعلاقة هنا تناسبية أي بزيادة درجة حرارة التبخير من 4−13 °C يزداد معدل كمية الحرارة المسحوبة من المكان المراد تبريده وهذه يعني بدوره استطاعة تبريد مرتفعة.



الشكل (١٦.٥): تأثير درجة حرارة المبخر على استطاعة التبريد

الشكل (١٧.٥) يبين تأثير درجة حرارة المبخر على تركيز كل من المحلول الغني والمحلول الفقير، من الشكل يتضح ازدياد عرض حزمة التبخير مع ازدياد درجة حرارة المبخر من 4−13 °C.



الشكل (١٧.٥): تأثير درجة حرارة المبخر على تركيز المحلول الغني والفقير

٤.٥ . تأثير درجة حرارة المولد:

لدراسة تأثير درجة حرارة المولد على أداء الدارة الامتصاصية قمنا بإنشاء جدول من أجل قيم متغيرة لدرجة حرارة المولد (تتراوح بين 65–83 °C) وقيم ثابتة لكل من درجات حرارة المبخر والمكثف ثم تم حساب باقي البرامترات الموافقة لتلك الدرجات عن طريق البرنامج. الشكل (١٨.٥) يظهر النتائج التي تربط بين البرامترات المختلفة ضمن جدول.

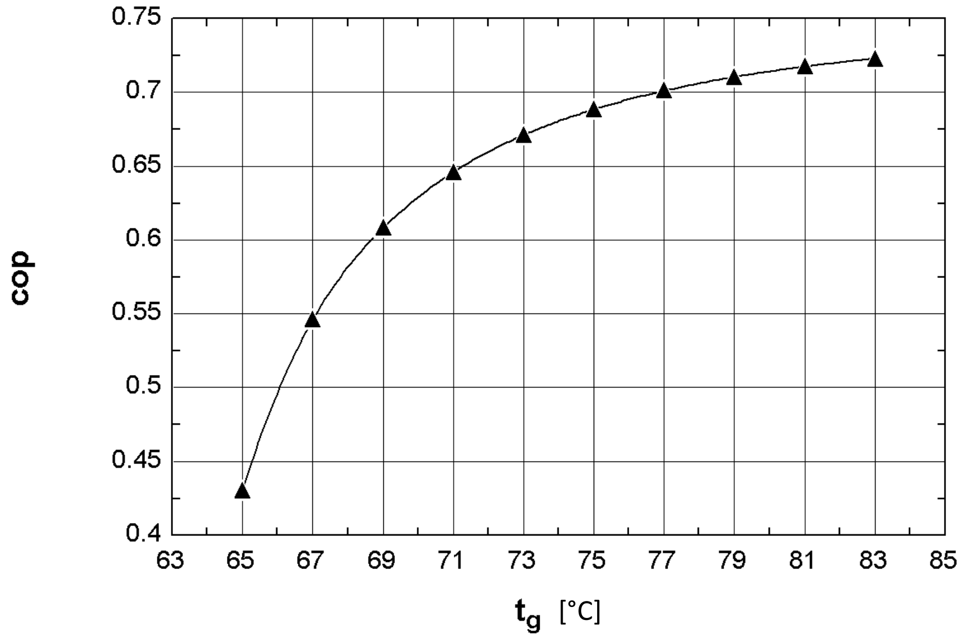
Parametric Table

T_C | T_G | T_E

1..10	t_g	$\dot{Q}_a$	$\dot{Q}_c$	$\dot{Q}_e$	$\dot{Q}_g$	x_a	x_r	f	cop
Run 1	65	126.1	57.94	55.34	128.7	55.35	54.06	42.93	0.4301
Run 2	67	171.9	101.1	96.43	176.6	56.35	54.06	24.64	0.546
Run 3	69	215.5	142	135.2	222.3	57.32	54.06	17.57	0.608
Run 4	71	257.3	180.9	172	266.2	58.28	54.06	13.81	0.646
Run 5	73	297.1	217.8	206.8	308.2	59.21	54.06	11.49	0.671
Run 6	75	335.3	253.1	239.9	348.5	60.13	54.06	9.903	0.6884
Run 7	77	371.9	286.8	271.4	387.2	61.03	54.06	8.752	0.701
Run 8	79	407	319.1	301.6	424.5	61.92	54.06	7.878	0.7103
Run 9	81	440.5	349.9	330.2	460.3	62.79	54.06	7.196	0.7173
Run 10	83	473	379.6	357.7	494.9	63.64	54.06	6.642	0.7228

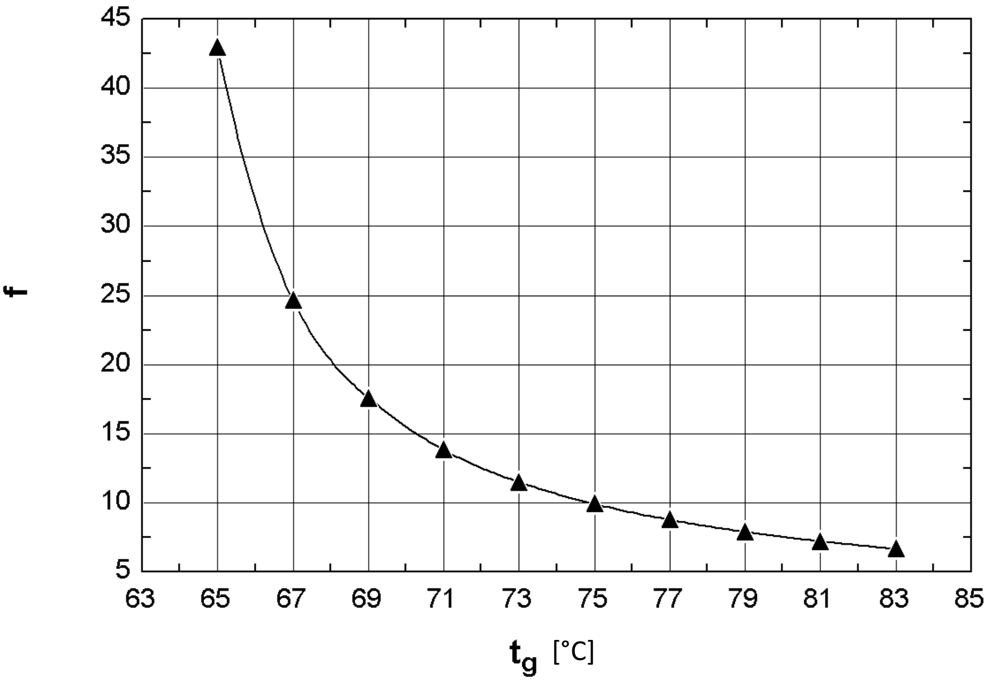
الشكل (١٨.٥): جدول تأثير درجة حرارة المولد

يظهر المخطط (١٩.٥) تأثير درجة حرارة المولد على معامل الأداء، حيث نلاحظ أنه كلما زادت درجة حرارة المولد كلما ازداد معامل الأداء COP حيث كانت قيمة COP = 0,48 عند درجة حرارة توليد منخفضة $T_G = 65°C$ ، أما من أجل درجة حرارة توليد مرتفعة $T_G = 83°C$ فإن COP تزداد إلى 0,73 أي بحدود % 25.



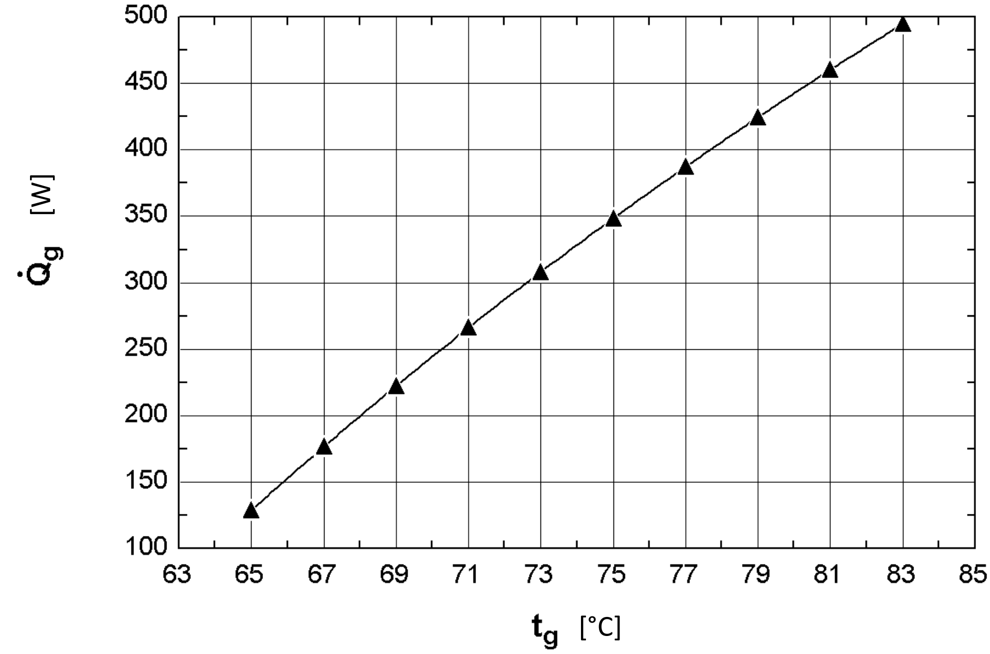
الشكل (١٩.٥): تأثير درجة حرارة المولد على أداء الدارة

الشكل (٢٠.٥) يظهر تأثير حرارة المولد على معامل التدوير f ، ونلاحظ أنه بازدياد درجة حرارة المولد من 65–83 °C تنخفض قيمة معامل التدوير، وهذا يعني الحاجة الى ضخ كميات قليلة من المادة الماصة (بروميد الليثيوم) من الماص الى المولد لتشغيل آلة التبريد الامتصاصية عند درجات حرارة مولد مرتفعة.



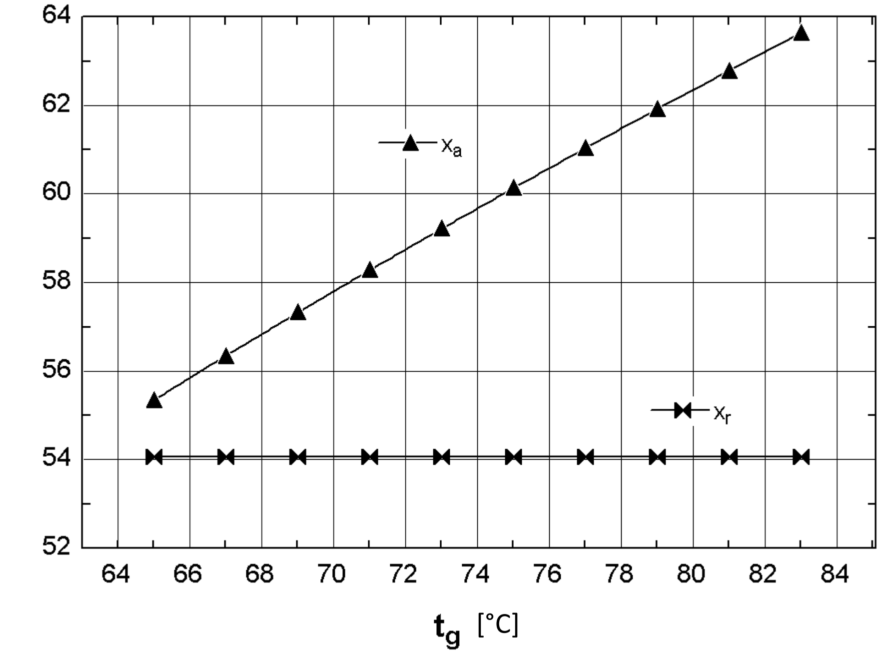
الشكل (٢٠.٥): تأثير درجة حرارة المولد على معامل التدوير

الشكل (٢١.٥) يظهر العلاقة بين درجة حرارة المولد واستطاعة المولد، والعلاقة هنا تناسبية أي بزيادة درجة حرارة التوليد من 65–83 °C يزداد معدل كمية الحرارة المسحوبة من المصدر الحراري وهذه يعني بدوره استطاعة تسخين مرتفعة من المجمعات الشمسية أو من المصدر الحراري.



الشكل (٢١.٥): تأثير درجة حرارة المولد على استطاعة المولد

الشكل (٢٢.٥) يبين تأثير درجة حرارة المولد على تركيز كل من المحلول الغني والمحلول الفقير، من الشكل يتضح ازدياد عرض حزمة التبخير مع ازدياد درجة حرارة المولد من 65-83 °C.



الشكل (٥.٢٢): تأثير درجة حرارة المولد على تركيز المحلول الغني والمحلول الفقير

الفصل السادس

النتائج والتوصيات

تم في هذا البحث في البداية إجراء دراسة مرجعية موسعة لكافة عمليات التوازن الحراري والكتلي ضمن آلة التبريد الامتصاصية ولعمليات التبادل الحراري ضمن المولد الأنبوبي ومن ثم إنشاء نموذج برمجي لمولد البخار من نوع حزمة الأنابيب باستخدام البرنامج EES.

تم استخدام النموذج البرمجي السابق في أمثلة تصميم المولد حيث تمت دراسة تأثير عدد من البرامترات المهمة التي تؤثر على عملية التبادل الحراري مثل الخطوة الأفقية والشاقولية للأنابيب وتحديد القيم المثلى لها كما تم المقارنة بين توزيع الأنابيب الخطي والشطرنجي ضمن المولد عند حالات وشروط حدية مختلفة.

بالإضافة إلى ذلك تم دراسة تأثير زيادة عدد ممرات أنابيب المياه الساخنة على فعالية المولد، حيث تبين أن زيادة عدد الممرات يزيد من معامل انتقال الحرارة عند نفس حجم ووزن المولد.

لتحسين فعالية المولد تم دراسة تأثير عدد صفائح التوجيه ضمن المولد، حيث بينت النتائج زيادة معامل انتقال الحرارة مع زيادة عدد الصفائح وبالتالي زيادة كمية البخار المتولدة بزيادة عدد صفائح التوجيه عند نفس الطاقة الحرارية المقدمة من المجمعات الشمسية.

كما تم دراسة تأثير الجزء المقتطع من صفائح التوجيه على فعالية التبادل الحراري وتحديد قيمته المثالية (٢٠ مم في مثالنا) التي تعطي أفضل أداء للمولد.

كما تم دراسة تأثير مادة صنع أنابيب المولد، حيث أكدت نتائج النمذجة الحقائق المعروفة بأن النحاس يعطي أفضل انتقال للحرارة ضمن المواد المدروسة نظراً لما يتمتع بإيصاليه حرارة مرتفعة بالمقارنة مع باقي المواد المدروسة.

كنموذج ثاني في هذا البحث تم نمذجة النظام الإجمالي لدارة التبريد الامتصاصية الشمسية العاملة باستخدام المحلول (ماء وبروميد الليثيوم) والتي يمكن استخدامها لأغراض التكييف باستخدام البرنامج EES.

باستخدام النموذج الثاني تم دراسة تأثير كل من درجة حرارة المولد والمبخر والمكثف على معامل أداء الدارة ومعامل التدوير وعلى عرض مجال التبخير في المولد وتحديد القيم والمجالات المثالية لكل جزء.

كامتداد لهذه الدراسة البرمجية يقترح توسيع النماذج البرمجية المنفذة هنا بحيث تشمل حسابات ضياعات الضغط ودراسة تأثير العوامل التصميمية السابقة على ضياعات الضغط في المولد وتحديد المجالات المثالية مقارنة مع دراستنا.

لقد تم في هذا البحث البرمجي اختيار تصميم مولد البخار ذو حزمة الأنابيب لما يتمتع من مزايا عديدة منها ارتفاع معامل انتقال الحرارة فيه وسهولة تصنيعه وتنظيفه من الرواسب، يقترح متابعة الدراسة باختيار تصاميم أخرى مختلفة لمولد البخار مثل المولدات الصفائحية أو الحلزونية وإجراء مقارنة مع النتائج المعروضة من خلال هذا البحث.

كما يقترح تصنيع نماذج تجريبية لمولد بخار أنبوبي وإجراء تجارب مخبرية على تلك النماذج المختلفة عند شروط حدية مختلفة بحيث توافق الحالات المأخوذة في هذا البحث ومقارنة نتائج البرمجة مع النتائج التجريبية.

المراجع العلمية

[1] م. إبراهيم محمد القرضاوي . أجهزة الطاقة الشمسية . جامعة الإسكندرية ، هيئة المكاتب العربية الاستشارية، عام 1995.

[2] د. رضوان عبد الغني المصري. مبادئ الطاقة الشمسية الحرارية وتطبيقاتها (الجزء الأول)، جامعة حلب، كلية الهندسة الميكانيكية، عام 1996.

[3] د. كالوست مكروجيان. آلات ومحطات التبريد . جامعة تشرين ، كلية الهندسة الميكانيكية، عام 1997

[4] د. جابر ديبة، محاضرات مقرر آلات التبريد لطلاب السنة الخامسة – قسم القوى الميكانيكية، جامعة تشرين، عام ٢٠١٠

[5] د. محمد حمّاد ، د. عبد الله العموري . آلات التبريد . جامعة حلب ، كلية الهندسة الميكانيكية، عام 2007 .

[6] د. أحمد نحاس . تدفئة وتكييف الهواء . مطبوعات جامعة حلب ، كلية الهندسة عام 1981.

[7] Alizadeh, S.; Bahar, F.; Geoola, F. „Design and optimization of an absorption refrigeration system operated by solar energy“ Solar Energy Vol. 22, (1979) S: 149 – 154

[8] Alizadeh, S. „Multi-pressure absorption cycles in solar refrigeration: a technical and economical study“ Solar Energy Vol. 69, No. 1, (2000) S: 37 – 44

[9] Chen, G.; Hihara, E. „A new absorption refrigeration cycle using solar energy“ Solar Energy Vol. 66, No. 6, (1999) S: 479 – 482

[10] Kunze, G. „Efficient solar cooling with an improved Ammonia- Absorption System“ Renewable Energy World, 3., Nr.6, (2000) S:111-112, ISSN 1462-6381

[11] De Lucas, A.; Donate, C.; Villasenor, J.; Rodriguez, J.F. „Performance evaluation and simulation of a new absorbent for an absorption refrigeration system“ International Journal of Refrigeration 27, (2004) S: 324 – 330

[12] Pitatowsky, I.; Rivera, W.; Romero, R. J. „Thermodynamic analysis of monomethylamine-water solutions in a single-stage solar absorption refrigeration cycle at low generator temperatures“ In Solar Energy Materials & Solar Cells 70, (2001) S: 287 – 300

[13] Sargent, S.L.; Beckman, W.A„Theoretical Performance of an Ammonia-Sodium Thiocyanate Intermittent Absorption Refrigeration Cycle“ Solar Energy. Vol.12, . (1968) S: 137-146

[14] Sierra, F.Z.; Best, R.; Holland, F.A. „Experiments on an absorption refrigeration system powered by a solar pond“ Heat Recovery Systems & CHP Vol. 13, No. 5, (1993) S: 401 – 408

[15] Wang, J.; Chien, G.; Jiang, H. „Study on a solar-driven ejection absorption refrigeration cycle“ International Journal of Energy Research 22, (1998) S: 733 – 739

[16] Wijeysundera, N.E. „Thermodynamic performance of solar-powered ideal absorption cycles“ Solar Energy Vol. 61, No. 5, (1997) S: 313 – 319

[17] Wijeysundera, N.E„An irreversible-thermodynamic model for solar-powered absorption cooling systems“ Solar Energy Vol. 68, No. 1, . (2000) S: 69 – 75

[18] Sözen, A. „Effect of heat exchanger on performance of absorption refrigeration systems“ Energy Conversion and Management 42, (2001) S: 1699-1716

[19] مصطفى محمد السيد / قدري أحمد فتحي / إبراهيم السعيد مجاهد، النماذج الحسابية للنظم الحرارية الشمسية، جامعة الملك عبد العزيز، الطبعة الأولى ١٤١٥ هـ

[20] „EES: Engineering equation solver“ F-Chart Software, www.fchart.com/ees/ees.shtml. or www.southalabama.edu/engineering/solver.shtml (2010).

[21] Roetzel, W.; Spang, B. Effective mean temperature difference in segmentally baffled shell and tube heat exchangers. proceedings of the 9 th international heat exchanger conference. Heat transfer. Vol. 5, 1990, S: 79-84.

[22] Roetzel, W.; Lee, D. Effect of baffle/ shell leakage flow on heat transfer in shell- and- tube heat exchangers. Experimental Thermal and Fluid Science. Vol. 8, 1994, S: 10-20.

[23] Sun, S.Y.; Lu, Y.D.; Yan, C.Q. Optimization in calculation of shell- tube heat exchanger. Int. Comm. Heat Mass Transfer. Vol. 20, 1993, S: 675-685.

[24] Gaddis, E.S.; Gnielinski, V. Pressure drop on the shell- side of shell- and- tube heat exchangers with segmental baffles. Chemical Engineering and Processing. Vol. 36, 1997 S: 149-159.

[25] Prithiviraj, M.; Andrews, M.J. Three- dimensional numerical simulation of shell- and- tube heat exchangers, Part II: Heat transfer. Numerical Heat Transfer, Part A. Vol. 33, 1998, S: 817-828.

[26] Kottke, V.; Li, H. Local heat transfer in the first baffle compartment of the shell- and- tube heat exchangers for staggered tube arrangement. Experimental Thermal and Fluid Science. Vol. 16, 1998, S: 342-348.

[27] Sparrow, E.M.; Reifschneider, L.G. Effect of interbaffle spacing on heat transfer and pressure drop in a shell- and- tube heat exchanger. International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 29, 1986, S: 1617-1628.

[28] Shah, R.K.; Pignotti, A. Influence of a finite number of baffles on shell- and- tube heat exchanger performance. Heat Transfer Engineering. Vol. 18 (1), 1997, S: 82-94.

[29] Mukherjee, R. Effectively design shell- and- tube heat exchangers. Chemical Engineering Progress. February, 1998, S: 21-37.

[30] Gaddis, E.S.; Gnielinski, V. Shell- side heat transfer in baffled shell- and- tube heat exchangers. In VDI- heat atlas. VDI- Verlag, Düsseldorf, 1993, S: Gg 1-5.

[31] Gnielinski, V. Heat transfer in cross- flow around individual tube rows and through tube bundles. In VDI- heat atlas. VDI- Verlag, Düsseldorf, 1993, S: Gf 1-3.

[32] Gay, B.; Mackley, N.V.; Jenkins, J.D. Shell- side heat transfer in baffled cylindrical shell- and- tube exchangers- an electrochemical mass transfer modelling technique. International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 19, 1976, S: 995-1002.